

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CORRELAÇÃO DO MÉTODO DE DOSAGEM ABCP, PARA  
CONCRETOS CONVENCIONAIS, COM MATERIAIS ENCONTRADOS  
NA REGIÃO DO VALE DO TAQUARI/RS**

Roger André Werle

Lajeado, julho de 2016

Roger André Werle

**CORRELAÇÃO DO MÉTODO DE DOSAGEM ABCP, PARA  
CONCRETOS CONVENCIONAIS, COM MATERIAIS ENCONTRADOS  
NA REGIÃO DO VALE DO TAQUARI/RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Me. Rafael Mascolo

Lajeado, julho de 2016

Roger André Werle

## **CORRELAÇÃO DO MÉTODO DE DOSAGEM ABCP COM MATERIAIS ENCONTRADOS NA REGIÃO DO VALE DO TAQUARI/RS**

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, do curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Me. Rafael Mascolo – orientador  
Centro Universitário UNIVATES

Professor Me. Marlon Augusto Longhi  
Centro Universitário UNIVATES

Professor Me. Marcelo Freitas Ferreira  
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, julho de 2016

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma correlação entre o método de dosagem de concreto da ABCP com os materiais encontrados na Região do Vale do Taquari, visando comparar os resultados experimentais com os esperados a partir do método. Para a obtenção dos resultados os componentes utilizados foram caracterizados por meio de ensaios realizados em laboratório com referências nas respectivas normas. Os materiais foram escolhidos com base na disponibilidade na Região do Vale do Taquari. Utilizou-se o cimento CP IV-32, britas com o diâmetro máximo característico de 12,50mm e 19,00mm e uma areia quartzosa proveniente de rio. Foram obtidos seis traços por meio da caracterização dos materiais e calculados com base no método de dosagem da ABCP. Os resultados de abatimento de tronco de cone obtidos não foram os esperados, sendo que apenas um ficou na faixa à qual o método indica, mostrando que a quantidade de água utilizada nos traços é maior que a necessária. Quanto aos resultados dos ensaios da resistência à compressão, os da brita 12,50mm ficaram próximos aos esperados, sendo que a brita 19,00mm obteve resistências menores que as indicadas pelo método. Há indicativos que o método necessita de ajustes, tanto nas características dos agregados, quanto na quantidade de água indicada pelo método.

**Palavras-chave:** Método de dosagem ABCP. Materiais disponíveis. Região do Vale do Taquari.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, principalmente:

Meus pais, José e Vera, por tudo que sempre fizeram por mim durante toda minha vida.

Minha namorada, Aila, por me apoiar e dar suporte em todos os momentos.

Meu professor orientador, Mestre Rafael Mascolo, por me passar o conhecimento necessário para a realização do trabalho e pela disposição em sempre ajudar.

Aos meus amigos, principalmente ao Guilherme Petter, meu companheiro de caminhada durante todo o curso.

A minha família, por todo o apoio dado.

E por fim, ao meu filho Joaquim, por ter sido o melhor presente que a vida me deu.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama ternário .....	36
Figura 2 - Relação entre a relação a/c e a resistência esperada após 28 dias .....	43
Figura 3 - Comparação das curvas granulométricas da areia.....	51
Figura 4 - Localização da pedreira.....	52
Figura 5 - Brita 0 e brita 1 respectivamente .....	53

### LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de Abrams.....	29
Gráfico 2 - Resultados dos abatimento obtidos.....	56
Gráfico 3 - Resistência experimental x Resistência esperada (brita 12,50mm) .....	58
Gráfico 4 - Resistência experimental x Resistência esperada (brita 19,00mm) .....	58
Gráfico 5 - Ganho de resistência (brita 12,50 mm).....	59
Gráfico 6 - Ganho de resistência (brita 19,00 mm).....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de Cimento Portland.....	22
Quadro 2 - Resistência alcançada em um determinado tempo com diferentes tipos de cimento.....	30
Quadro 3 - Comparação dimensão máxima do agregado e <i>slump</i> .....	33
Quadro 4 - Desvio-padrão em função das condições de preparo .....	39
Quadro 5 - Classe de agressividade ambiental.....	39
Quadro 6 - Classe de agressividade e qualidade do concreto com foco em estruturas armadas .....	40
Quadro 7 - Consumo aproximado de água .....	44
Quadro 8 - Volume compactado seco de agregado graúdo por m <sup>3</sup> de concreto em função do módulo de finura da areia e dimensão máxima característica do agregado graúdo .....	45
Quadro 9 - Exigências físicas e mecânicas.....	49
Quadro 10 - Resultado da caracterização agregado miúdo (areia).....	50
Quadro 11 - Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo .....	50
Quadro 12 - Resultado da caracterização agregado graúdo (brita 0) .....	52
Quadro 13 - Resultado da caracterização agregado graúdo (brita 1) .....	53
Quadro 14 – Traços unitários definidos por meio do método de dosagem da ABCP54	
Quadro 15 - Quantidade de material utilizado e teor de argamassa de cada traço...54	
Quadro 16 - Resultados dos abatimentos obtidos.....	56
Quadro 17 - Comparação dos resultados obtidos por meio de ensaio prático e resultados esperados conforme método .....	57

Quadro 18 - Ganho de resistência (brita 12,50 mm) .....	59
Quadro 19 - Ganho de resistência (brita 19,00 mm) .....	60

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Valor de abatimento recomendado conforme tipo de obra.....	26
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Association Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CP	Cimento Portland
LATEC	Laboratório de Tecnologia de Construção da UNIVATES
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NBR NM	Norma Brasileira Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Portland Cement Association

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.1 Objetivos gerais</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Delimitações do trabalho</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Concreto</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.1 Conceito</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.2 História do concreto</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.3 Materiais</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.3.1 Cimento Portland</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.3.2 Agregados</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.3.3 Água de amassamento</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.3.4 Aditivos</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.4 Propriedades do concreto</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.4.1 Propriedades do concreto fresco</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1.4.2 Propriedades do concreto endurecido</b> .....	<b>28</b>
<b>2.1.4.2.1 Resistência mecânica</b> .....	<b>28</b>
<b>2.1.4.2.2 Durabilidade</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1.4.2.3 Variações e volume</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2 Métodos de dosagem</b> .....	<b>34</b>

2.2.1	Breve histórico .....	34
2.2.2	Definição .....	35
2.2.3	Considerações sobre dosagem .....	37
2.2.3.1	Custo .....	37
2.2.3.2	Trabalhabilidade .....	37
2.2.3.3	Resistência mecânica .....	38
2.2.3.4	Durabilidade.....	39
2.2.4	Tipos de dosagem .....	40
2.2.5	Método de dosagem da ABCP .....	41
2.2.5.1	Parte 1: Fixação do fator água cimento.....	42
2.2.5.2	Parte 2: Água estimada por metro cúbico de concreto.....	44
2.2.5.3	Parte 3: Consumo de cimento .....	44
2.2.5.4	Parte 4: Consumo de agregado graúdo.....	45
2.2.5.5	Parte 5: Consumo de agregado miúdo .....	46
2.2.6	Determinação do traço unitário.....	46
3	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	48
3.1	Introdução .....	48
3.2	Materiais .....	48
3.2.1	Aglomerante (cimento) .....	48
3.2.2	Agregado miúdo (Areia).....	49
3.2.3	Agregado graúdo.....	51
3.3	Cálculo do traço unitário.....	53
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	55
4.1	Introdução .....	55
4.2	Concreto no estado fresco.....	55
4.3	Concreto no estado endurecido .....	57
5	CONCLUSÕES.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

Existe uma forte relação entre população e urbanização. Nos últimos 65 anos a população mundial cresceu de 2,5 para 7,3 bilhões de pessoas. Em 2015 a ONU (Organização das Nações Unidas) lançou um estudo no qual chegou à conclusão de que a população mundial será de 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (O GLOBO, 2015, texto digital).

Grande parte da população está localizada em megacidades, sendo que a maioria delas encontram-se nos países em desenvolvimento, onde enormes quantidades de materiais são utilizados para construção de habitações, fábricas e outras obras de infraestrutura. Entre todos os produtos utilizados para as construções o concreto de cimento Portland, em termos de volume, é o mais utilizado no mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A produção do concreto, dependendo do porte da construção, pode ser feita no próprio canteiro de obras misturando-se cimento Portland, agregado graúdo e miúdo, água e eventualmente algum aditivo. Porém se a mistura e os materiais utilizados não seguem um padrão mínimo de controle, o concreto pode não atender aos requisitos mínimos necessários.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), para que o concreto tenha certas características de desempenho é necessário que haja uma criteriosa seleção de componentes, afim de se dosar a quantidade ideal de cada um. A dosagem é importante porque além da obtenção de um concreto com qualidade adequada para cada uso proposto, permite a otimização no consumo de materiais e conseqüentemente uma redução dos custos.

Segundo Helene e Terzian (1995), o principal parâmetro para a dosagem e controle de qualidade do concreto é a resistência à compressão. Isso se deve ao fato do ensaio para a determinação da mesma ser relativamente simples, e por ser um parâmetro sensível às alterações de composição da mistura, permitindo inferir modificações em outras propriedades do concreto. No Brasil não existe nenhuma norma específica para a dosagem de concreto e ao invés disso há diversos métodos de dosagem, propostos por diversos autores.

Apesar dos métodos serem diferentes alguns fatores são comuns a todos, como por exemplo, o cálculo de resistência de dosagem, a relação entre a resistência mecânica, o fator água/cimento e o consumo de cimento. “A fragmentação dos métodos impediu até o presente que os aspectos comuns pudessem ser aprofundados e uniformizados.” (HELENE; TERZIAN, 1995, p. 22).

O método de dosagem apresentado no trabalho é da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) proposto inicialmente em 1956 por Ary Torres e Carlos Eduardo Rosman. Em 1984 a ABCP publicou um estudo técnico elaborado por Publio Penna Firme Rodrigues, que representa uma adaptação do método americano ACI (*American Concrete Institute*) 211.1-81 (ISAIA, 2011).

Segundo Recena (2002), o método é considerado de caráter experimental, ou seja, a dosagem é feita com materiais definidos, e caso houver mudança sobre os mesmos as propriedades do concreto serão modificadas. Por ser um método com precisão maior, se comparado aos métodos empíricos, os traços obtidos tendem a ser mais econômicos.

Considerando o tempo decorrido desde a última atualização do método de dosagem, somada as variações de materiais existentes ao longo da extensa área territorial do país, busca-se aplicar o método aos materiais da região de Lajeado/RS.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos gerais**

Comparar os resultados de abatimentos do tronco de cone no estado fresco e de resistência mecânica à compressão aos 28 dias de idade, obtidos por meio de dosagem experimental, com os valores esperados a partir dos dados tabelados e pré-definidos do método de dosagem da ABCP, utilizando agregados obtidos na Região do Vale do Taquari.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Caracterizar fisicamente, por meio de ensaios específicos, os aglomerantes e agregados, disponíveis na Região do Vale do Taquari, a serem utilizados na dosagem experimental.

Gerar diferentes traços de dosagem baseados no método ABCP.

## **1.2 Delimitações do trabalho**

Os traços obtidos pelo método de dosagem da ABCP são calculados a partir das características dos materiais que são empregados no concreto, assim, a alteração das mesmas pode modificar as principais características do concreto. Devido a gama de características, o trabalho se limitará a algumas que julga mais importante para os objetivos do trabalho. São elas:

- Três relações água/cimento;
- Uma única faixa de abatimento de tronco de cone;
- Duas dimensões máximas de agregado graúdo;
- Um tipo de areia;
- Um tipo de cimento Portland.

### 1.3 Estrutura do trabalho

O capítulo 1 aborda a introdução do assunto de forma sucinta, apresenta os objetivos da pesquisa e mostra as delimitações da mesma.

O capítulo 2 contém a revisão bibliográfica que aborda diversos temas sobre o concreto e os métodos de dosagem do concreto, começando com um conceito sobre o material e uma breve história do mesmo, descrevendo os componentes que são necessários para a sua produção. Após, apresentam-se as propriedades que se espera obter do concreto tanto em seu estado fresco como no estado endurecido, e quais são os componentes que as influenciam.

A seguir é apresentado um breve histórico sobre as dosagens de concreto no Brasil e no mundo, os tipos de dosagem e, por fim, a descrição do método de dosagem ABCP.

O capítulo 3 descreve a metodologia para caracterização dos componentes usados para a obtenção de traços de concreto, as características do concreto que espera-se obter com os traços e como serão realizados os ensaios para a pesquisa.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios, analisando inicialmente as características do concreto fresco, por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone e após as características do concreto endurecido, obtendo-se os resultados com o ensaio de resistências à compressão.

O capítulo 5 refere-se as conclusões obtidas e as sugestões para posteriores pesquisas referentes ao presente trabalho.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Concreto**

#### **2.1.1 Conceito**

O concreto é um material de construção composto por cimento, agregado graúdo e miúdo, água e eventualmente aditivo, sendo que cada um tem uma importante função na mistura. O cimento é um material seco, finamente moído, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio e praticamente sem cal livre. Por si só não é aglomerante, desenvolve essa propriedade quando entra em contato com a água, iniciando o processo de hidratação e por consequência o endurecimento da massa, sendo o mesmo responsável pelo aumento de resistência da mistura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Diferentemente do cimento os agregados não reagem quimicamente quando entram em contato com a água, sendo considerados apenas como material de enchimento e inerte, mas algumas de suas características são importantes na composição do concreto. Peculiaridades como a composição granulométrica, porosidade, forma e textura superficial atribuem qualidades tanto no concreto fresco, quanto no endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Outro componente essencial para o concreto é a água, sendo que a maior parte utilizada para a produção de concreto tem por finalidade adequar a trabalhabilidade de acordo com o uso para o qual foi projetado. A água não deve

conter impurezas que possam prejudicar as reações entre o cimento e ela (RECENA, 2014).

Para a obtenção do concreto, todos os componentes devem ser devidamente misturados até se obter uma massa homogênea, com coesão e plasticidade que facilite a aplicação e o lançamento do mesmo em fôrmas de molde. Com o passar do tempo espera-se que o material venha a desenvolver resistência mecânica, durabilidade, resistência ao desgaste superficial e outras propriedades (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Eventualmente alguns constituintes podem ser inseridos na mistura, tais como os aditivos, os quais têm por finalidade melhorar ou conferir propriedades especiais à mistura. Eles podem dar maior plasticidade quando o concreto ainda estiver fresco, diminuir a permeabilidade e aumentar à resistência a compressão após a cura total, entre outras funções (PETRUCCI, 1998).

Segundo Petrucci (1998), para que o concreto possa ser econômico e aceitável para os fins a qual se destina, é necessário ter profundo conhecimento das propriedades e qualidades dos materiais que serão usados. Também é importante se atentar ao controle do concreto durante o processo de mistura para que o mesmo obtenha as características esperadas.

O processo de mistura ou amassamento do concreto tem por finalidade fazer com que os componentes entrem em contato e que a pasta, assim denominada a mistura entre cimento e a água, envolva totalmente os agregados. A função da pasta, no estado fresco, é envolver os agregados, preencher os espaços vazios e dar fluidez, e no estado endurecido, desenvolver a resistência mecânica e garantir a durabilidade (PETRUCCI, 1998).

A principal exigência para a obtenção de uma boa mistura é que seja homogênea, pois caso contrário haverá um decréscimo da resistência mecânica e da durabilidade do concreto. A mistura pode ser feita de forma manual ou mecânica, sendo que para cada uma existem recomendações com a finalidade de tornar o resultado final satisfatório para o qual foi projetado. A mistura manual deve ser feita sobre uma superfície plana, resistente e impermeável e a mecânica é feita em betoneiras (PETRUCCI, 1998).

### 2.1.2 História do concreto

O concreto se tornou essencial para a civilização moderna, pois desde que o homem saiu das cavernas, buscou construir algo que lhe protegesse das intempéries e das demais ameaças na natureza. Tem-se registro que no ano de 600 a.C. os romanos já usavam a cal como aglomerante, e foram eles que descobriram o *Opus Caementicium* que continha a cinza pozolânica como componente principal, e ao ser misturada com a argamassa de cal produzia um material de características semelhantes ao cimento dos dias atuais (CARVALHO, 2008).

Com essa argamassa foi possível a construção do *Pantheon*, grandes aquedutos e estradas. Foi bastante utilizado como argamassa de assentamento nas alvenarias de pedras, porém, em alguns casos como nas estradas e algumas coberturas, as pedras eram muito pequenas, sendo essa mistura semelhante ao concreto que é utilizado atualmente (CARVALHO, 2008).

Os romanos contribuíram para o desenvolvimento tecnológico do concreto, foram eles os primeiros a utilizarem o concreto com agregados leves e reforçados com barras metálicas. Mas o conhecimento romano ficou esquecido durante toda a Idade Média e foi resgatado somente em meados do século XVIII (CARVALHO, 2008).

O cimento Portland foi patenteado por Joseph Aspdin em 1824 na Inglaterra, e depois disso, teve uma evolução gradual no consumo e nas suas propriedades até que passou a ser o material mais empregado na construção civil atual. Muito disso se deve, a fácil aplicação e a grande disponibilidade de matéria-prima em todo o mundo. Nos primórdios do concreto como se conhece hoje, era adicionada uma grande quantidade de água para se obter boa trabalhabilidade, fazendo com que a resistência à compressão não ultrapassasse 10 MPa (SANTOS, 2015).

Em 1904 tem-se a primeira referência sobre o concreto no Brasil, o professor Antonio de Paula Freitas da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, publicou um trabalho que citava a execução de seis prédios e um reservatório de água em Petrópolis/RJ (CARVALHO, 2008).

O avanço tecnológico e o estudo da microestrutura do concreto foram essenciais para o desenvolvimento dos métodos de dosagem mais precisos e para o controle de qualidade na sua produção. Possibilitou também a adição de alguns compostos químicos para melhoria de características importantes para a mistura (SANTOS, 2015).

### **2.1.3 Materiais**

#### **2.1.3.1 Cimento Portland**

Metha e Monteiro (2014) definem o cimento Portland como:

cimento hidráulico produzido pela pulverização de clínques constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos cristalinos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e até 5% de calcário como adição de moagem. Clínques são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sintetizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas com proporcionamento adequado é aquecida sob altas temperaturas. (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 217)

Os compostos presentes no cimento Portland são anidros, ou seja, não contém água em sua composição, e ao entrar em contato com a água, reagem e formam-se produtos hidratados. A hidratação do cimento transforma os anidros solúveis em compostos hidratados não-solúveis. No processo de hidratação forma-se uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros, de maneira que na zona intermediária entre o gel e o cristal primário, a solução é supersaturada em relação aos compostos hidratados (PETRUCCI, 1998).

Para Metha e Monteiro (2014), como o cimento Portland é composto por uma mistura heterogênea de vários compostos, o processo de hidratação consiste em reações simultâneas dos compostos anidros com a água. Porém os compostos não tem a mesma velocidade de hidratação, sendo que os aluminatos são conhecidos por se hidratarem com uma velocidade maior a dos silicatos.

A reação da hidratação dos aluminatos determinam as características de enrijecimento e pega da pasta de cimento Portland. Já a reação de hidratação dos silicatos, que compõe 75% do cimento Portland, têm grande influência na taxa de desenvolvimento de resistência mecânica da pasta (METHA; MONTEIRO, 2014).

Ainda segundo os mesmos autores, o processo de enrijecimento é a perda de consistência da plasticidade da pasta de cimento, e é associada com a perda de abatimento do concreto. A água livre é responsável pela plasticidade da pasta, sendo que a perda gradual da mesma, como resultado da hidratação do cimento e adsorção superficial de produtos pouco cristalinos, fazem com que a pasta enrijeça e atinja a pega e o endurecimento.

O termo pega é referente à solidificação da pasta de cimento, sendo que o início da pega é onde a pasta se torna não trabalhável, ou seja, operações como lançamento, compactação e acabamento do concreto se tornam difíceis. Esse processo fica evidenciado quando ocorre uma elevação de temperatura e aumento brusco de viscosidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PETRUCCI, 1998).

Já o fim da pega é onde a pasta está completamente solidificada, ou seja, é quando o concreto cessa as deformações com cargas pequenas e vira um bloco rígido, de modo que após o fim da pega a pasta tem pouca ou nenhuma resistência mecânica. Com o passar dos dias essa propriedade vai se desenvolvendo, pois há o preenchimento de espaços vazios a partir das reações de hidratação, e esse processo é chamado de endurecimento. Juntamente com o aumento da resistência ocorre a diminuição da porosidade e da permeabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PETRUCCI, 1998).

Um fator influente nas propriedades do concreto é o grau de moagem do cimento Portland, pois exerce grande influência sobre as propriedades do mesmo. O processo de hidratação se faz da superfície para o interior do grão, influenciando na rapidez da hidratação e por consequência no ganho de calor, retração e aumento de resistência nas primeiras idades. Se o cimento tiver alto grau de divisão a pasta irá endurecer mais rapidamente e resistirá mais a penetração da água, bem como será mais homogênea e estável, porém haverá uma grande liberação de calor em um curto intervalo de tempo, o que deixará o concreto mais suscetível ao fissuramento (PETRUCCI, 1998).

Segundo a ABCP (2002) existem vários tipos de cimento Portland no Brasil, que se diferenciam principalmente em função da sua composição. Os cimentos empregados na construção estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de Cimento Portland

Nome técnico	Norma
Cimento Portland comum	NBR 5732
Cimento Portland composto	NBR 11578
Cimento Portland de alto-forno	NBR 5735
Cimento Portland pozolânico	NBR 5736
Cimento Portland de alta resistência inicial	NBR 5733
Cimento Portland resistente aos sulfatos	NBR 5737
Cimentos Portland branco	NBR 12989
Cimento Portland de baixo calor de hidratação	NBR 13116
Cimento Portland para poços petrolíferos	NBR 9831

Fonte: Autor (2016)

Os cimentos são diferenciados por classe de resistência média a compressão, sendo as mesmas de 25, 32 e 40 MPa, determinadas a partir da NBR 7215 (ABNT, 1996), e são comercializados em sacos de 25 e 50 Kg, exceto o CP V-ARI que normalmente é vendido em sacos de 40 Kg e não tem classe de resistência. Os cimentos devem ser armazenados em local coberto e fresco para que não haja absorção de umidade ou contato com a água, empilhados no máximo em 10 sacos, e têm validade de 3 meses.

### 2.1.3.2 Agregados

“Entende-se por *agregado* o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia.” (PETRUCCI, 1998, p.38, grifo do autor).

Por não entrar em reação química com a água e por ter baixo custo, o agregado é utilizado como material de enchimento no concreto, sendo que 60 a 80% do volume de concreto é ocupado pelos agregados. Porém, características como porosidade, massa específica, composição granulométrica e absorção de água são de grande importância para a composição do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PETRUCCI, 1998).

Para que a dosagem do concreto seja feita, é necessário conhecer as características dos agregados, pois as mesmas influenciam nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco, quanto no endurecido. Por exemplo, o tamanho das partículas do agregado graúdo influencia a quantidade de água na mistura para

que se obtenha uma determinada consistência. Já para uma areia muito fina ou angulosa, se necessita de uma quantidade maior de água para obter uma dada consistência (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Os agregados, segundo Petrucci (1998), podem ser classificados como sendo de origem artificial ou natural, sendo que os artificiais são obtidos com a intervenção humana, por exemplo; britas que são provenientes de rochas que foram explodidas e moídas. Os agregados naturais são encontrados na natureza, como por exemplo as areias retiradas dos rios.

Outra classificação que é dada aos agregados refere-se ao tamanho dos seus fragmentos, podendo ser eles grãos ou miúdos. O agregado miúdo pode ser definido como:

agregado que passa na peneira com abertura de malha de 9,5 mm, que passa quase totalmente na peneira 4,75 mm e fica retido, em sua maior parte, na peneira 75  $\mu\text{m}$ ; ou se define como a porção que passa na peneira de 4,75 mm e fica retida quase totalmente na peneira de 75  $\mu\text{m}$  (NBR NM 52, ABNT, 2009).

O agregado grão é definido como “agregado cuja maior parte de suas partículas fica retida na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ou a porção que fica retida nessa mesma peneira.” (NBR NM 53, ABNT, 2009).

Os agregados podem ser classificados também quanto a sua massa unitária, que pode ser entendida como “o peso da unidade de volume aparente do agregado, isto é, incluindo no volume os vazios entre os grãos.” (PETRUCCI, 1998, p. 67). São divididos em agregado leve, normal e pesado, sendo que o leve possui uma massa unitária menor que 1120  $\text{Kg/m}^3$ , enquanto o pesado apresenta massa unitária maior que 2080  $\text{Kg/m}^3$  e o normal possui massa unitária de 1520 a 1680  $\text{Kg/m}^3$  (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

### **2.1.3.3 Água de amassamento**

A água usada na produção do concreto deve ser livre de impurezas para que a mesma não seja prejudicial ao reagir com outros componentes do concreto. Segundo Petrucci (1998), os maiores danos que a água causa no concreto tem

relação com o excesso da mesma na mistura e não com as reações que possam ocorrer com os componentes do concreto.

Não se deve descartar o uso de águas impuras julgando apenas pelo odor ou coloração, antes disso é necessário verificar, por meio de ensaios, o quanto as impurezas influenciam na pega, resistência e estabilidade de volume. Salienta-se que esses ensaios não possibilitam identificar a ocorrência de corrosão da armadura, caso for concreto armado, ou eflorescência na superfície (PETRUCCI, 1998).

#### **2.1.3.4 Aditivos**

A ASTM C 125 define os aditivos como qualquer material que não faz parte da composição tradicional do concreto – água, agregados e cimento – usado como ingrediente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. São utilizados para conferir algumas características especiais, como por exemplo, aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o consumo de água, reduzir a exsudação e segregação, acelerar as taxas de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades e retardar ou acelerar o tempo de pega (METHA; MONTEIRO, 2014).

Os aditivos não irão corrigir um defeito pertencente ao concreto referente a uma dosagem incorreta ou colocação mal feita, sendo que nenhum impermeabilizante poderá sanar as deficiências de um concreto mal proporcionado e poroso, por exemplo (PETRUCCI, 1998).

#### **2.1.4 Propriedades do concreto**

As propriedades do concreto podem ser divididas em dois estágios: Quando o mesmo ainda estiver fresco e quando estiver endurecido, sendo que para cada uma delas existem certos fatores as influenciam (METHA; MONTEIRO, 2014).

#### 2.1.4.1 Propriedades do concreto fresco

Rodrigues (1984) afirma que a principal característica do concreto fresco é a trabalhabilidade, nome dado a uma série de propriedades difíceis de serem medidas ou avaliadas como um todo. Para Petrucci (1998) a trabalhabilidade é a propriedade que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com uma determinada finalidade sem a perda de sua homogeneidade.

Devido a não haver um ensaio para a determinação da trabalhabilidade, a mesma é explorada indiretamente a partir de outras propriedades como a consistência ou a plasticidade. Existem alguns fatores, internos e externos, que influem diretamente na trabalhabilidade.

Os fatores internos referem-se aos materiais e suas proporções, sendo que um fator bem aparente é o fator água/cimento (a/c), onde verifica-se que nem sempre o seu aumento, é proporcional a trabalhabilidade, pois dependendo da quantidade adicionada e tendo em vista que o adensamento ocorrerá por vibração, o concreto pode segregar, não sendo mais trabalhável (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Ainda sobre fatores internos, a relação e as características dos agregados graúdos e miúdos, são fatores determinantes na trabalhabilidade do concreto, sendo que os agregados mais esféricos conferem maior plasticidade ao concreto e os agregados mais porosos, com maior absorção de água, diminuem a trabalhabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PETRUCCI, 1998).

Já os fatores externos dependem da forma como será misturado o concreto, do transporte até o local da concretagem (carrinho de mão, calhas, elevadores), da altura para a qual precisa ser lançado, do tipo de adensamento (manual ou mecânico) e pela dimensão e armadura projetada para que possa se executar a peça (PETRUCCI, 1998).

Como já foi dito, não há um ensaio que possa medir a trabalhabilidade de forma direta, porém, pode-se determinar a consistência, que é um dos componentes da trabalhabilidade. O ensaio mais comum para a determinação da consistência é o abatimento do tronco de cone, conhecido como *slump test*. Esse ensaio é regido pela NBR NM 67 (ABNT, 1998) e sua finalidade é medir o assentamento do

concreto. Por ser um ensaio simples de ser executado, pode ser feito tanto em laboratório com no canteiro da obra.

A tabela 1 traz a classificação do concreto conforme aplicação e consistência.

Tabela 1 - Valor de abatimento recomendado conforme tipo de obra

Tipos de obras	Abatimento (mm)	
	máximo	mínimo
Paredes de fundações e sapatas armadas	75	25
Sapatas planas, caixões e paredes de infraestrutura	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Construções de concreto massa	50	25

Fonte: Mehta; Monteiro (2014, p.361)

A coesão do concreto pode ser entendida como a propriedade que garante a homogeneidade e impede que o concreto se separe durante o transporte, e está ligada à área específica dos sólidos mais finos e por consequência à pasta intersticial. Assim quanto maior o teor de finos e a continuidade dos grãos, maior será a coesão do concreto. Bucher (apud BOGGIO, 2000) salienta que a mistura terá um aspecto coeso quando o teor de argamassa for suficiente para envolver os grãos do agregado graúdo e se a massa se mantiver sem desagregar.

Caso o concreto não venha a atingir uma plasticidade adequada, pode ocorrer a segregação da mistura, isto é, a separação dos componentes que a constituem. Conforme Mehta e Monteiro (2014) a segregação impede que o concreto possa ser totalmente compactado e conseqüentemente afeta a resistência mecânica.

Podem ocorrer dois tipos de segregação, uma delas acontece em misturas secas e pobres, onde há separação dos grãos maiores, pelo efeito da gravidade, ocorrendo no momento que o concreto é transportado por calhas ou quando depositado em fôrmas. Esta situação pode resultar no aumento do número de vazios e no aparecimento de ninhos de concretagem (BOGGIO, 2000).

Outra forma de segregação é a exsudação, que é quando a água presente no concreto sobe até a superfície deixando-a úmida, assim o concreto tende a ficar poroso e corre o risco de se desintegrar pela percolação da água. Porém parte da água não chega a superfície, ficando retida dentro do concreto, por esse motivo

ocorrem manifestações em estruturas de concreto armado, de modo que uma parte da água fica sob os agregados graúdos, e outra parte nas barras horizontais da armadura, sendo responsável pela diminuição de resistência nessas áreas, pela formação da chamada zona de transição (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

No processo de exsudação, quando a água sobe pode levar junto algumas partículas muito finas de cimento, que ao se concentrarem sob a superfície formam a chamada nata. A nata impede que a ligação entre outras camadas seja possível, sendo necessário a retirada da mesma (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

As causas da segregação e exsudação são atribuídas à uma consistência inadequada, excesso de agregados graúdos, baixa quantidade de partículas finas e métodos de adensamento e lançamento inadequados. Para reduzir ou eliminar os problemas com a segregação e exsudação, deve-se atentar aos materiais usados, dosagem e métodos de lançamento do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A exsudação é medida pelo método da ASTM C-232, que consiste em colocar e adensar uma amostra de concreto em um cilindro e retirar a água em intervalos de 10 minutos durante os primeiros 40 minutos, depois a água será retirada em intervalos de 30 minutos. O resultado é dado pela quantidade de água acumulada na superfície, em relação a quantidade de água retirada na amostra de concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Como se pode notar, a quantidade de água adicionada à mistura é um fator importante para o bom desempenho do concreto, sendo que a água livre é a que permanece livre na mistura quando ainda fresca, e se pressionada migra para regiões de menor pressão, sendo a mesma o constituinte mais leve da mistura. A água também poderá migrar para os poros, vazios ou ainda estagnar na forma de bolhas, formando após o endurecimento, as vesículas superficiais (RECENA, 2014).

Para que ocorra a hidratação do cimento é necessário que seja adicionado uma quantidade mínima de água sendo esta, em relação ao cimento, de 0,20 e varia de acordo com o tipo de cimento. Além da água para a hidratação é preciso a adição de água para aderência dos agregados, sendo que a quantidade necessária para isso é de cerca de 15% da massa de cimento (RECENA, 2014).

A perda de abatimento também é uma característica do concreto fresco, e segundo MEHTA e MONTEIRO (2014) é definida como a perda de consistência do concreto fresco com o passar do tempo. Isso ocorre quando a água livre na mistura é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção dos produtos e evaporação.

Ainda segundo os mesmos autores, a elevada perda de abatimento dificulta no momento do transporte, lançamento e adensamento, e as vezes até impossibilita os processos. Para que isso não afete o andamento da concretagem, pode-se deixar o abatimento inicial mais elevado ou adicionar mais água, desde que fique na faixa a/c adequada. Em locais onde a temperatura é mais elevada a perda de abatimento ocorre com maior facilidade.

#### **2.1.4.2 Propriedades do concreto endurecido**

Segundo Petrucci (1998), o concreto endurecido é obtido após o fim da pega do aglomerante. As principais características do concreto endurecido são:

- Resistência mecânica
- Durabilidade
- Módulo de elasticidade

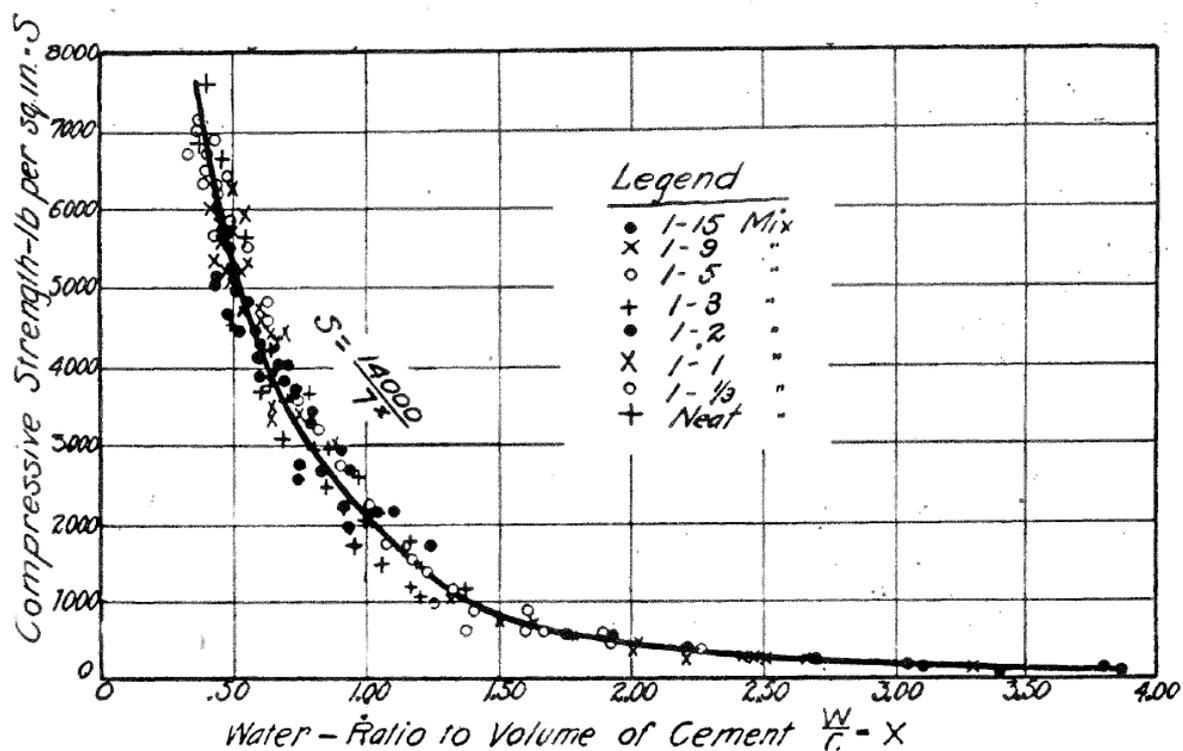
##### **2.1.4.2.1 Resistência mecânica**

A resistência mecânica é a propriedade mais valorizada por engenheiros projetistas. Mehta e Monteiro (2014) definem a resistência de um material como sendo a capacidade de resistir a tensões sem que haja rompimento do mesmo. O concreto tem boa resistência à esforços de compressão, mas não aos esforços de cisalhamento e tração, sendo a tração equivalente de 5% a 20% da resistência à compressão.

A relação a/c tem uma grande influência na resistência mecânica do concreto. No ano de 1918, Duff Andrew Abrams apresentou em uma reunião da Portland Cement Association (PCA), resultados de mais de 50.000 ensaios realizados em Chicago entre 1914 e 1918. Abrams descobriu que há uma relação entre a

proporção de água e cimento e a resistência do concreto, nos quais os resultados de seus ensaios mostram que quanto menor a relação a/c, maior a resistência mecânica. No gráfico 1 pode-se ver a curva apresentada por Abrams que mostra a relação a/c e a capacidade de carga no ensaio de resistência à compressão.

Gráfico 1 - Curva de Abrams



Fonte: Abrams (1919, p.3)

Outro fator importante para a resistência mecânica é a idade do concreto, de modo que a idade padrão do concreto é de 28 dias, sendo que dados medidos antes, como aos 3 e 7 dias, são feitos como forma de estimar a resistência mecânica futura e se ter informações preliminares sobre o concreto. No quadro 2 pode-se verificar que a resistência do concreto não para de aumentar após os 28 dias de idade, sendo que a cura completa do mesmo ocorre após cerca de um ano de idade.

Quadro 2 - Resistência alcançada em um determinado tempo com diferentes tipos de cimento

TIPO DE CIMENTO	Porcentagem da resistência em 365 dias, para diferentes idades				
	3	7	28	90	365
Portland comum	38	58	81	90	100
Alta resistência inicial	50	65	83	93	100
Moderada resistência aos sulfatos	35	51	77	93	100
Baixo calor de hidratação	16	28	58	92	100

Fonte: Petrucci (1998, p. 97)

Como também mostrado no quadro 2, o tipo de cimento escolhido para o concreto é de grande importância para o desenvolvimento da resistência mecânica, pois cada tipo tem um grau de hidratação diferente para uma determinada idade, que depende de características químicas, físicas e mineralógicas. Mehta e Monteiro (2014) dão o exemplo que quando comparados cimentos com diferentes finuras, obtém-se resistências diferentes, sendo que os mais finos tem hidratação mais rápida que os demais e por consequência adquirem resistência mais rapidamente nas primeiras idades. Essa diferença tende a desaparecer após 28 dias de idade da mistura, onde todos já alcançaram graus de hidratação semelhantes.

Outro fator influente na resistência do concreto é o agregado, não de maneira acentuada, mas características como a dimensão máxima do agregado, distribuição granulométrica e composição mineralógica podem ser relevantes para a resistência do mesmo. Mehta e Monteiro (2014) mostram como exemplo que quando o agregado possui textura rugosa, apresentará nas primeiras idades, uma resistência maior de que se o mesmo tiver a superfície lisa. Porém com o passar do tempo, em idades mais avançadas, quando houver interações químicas entre o agregado e a pasta, a diferença de resistência tende a diminuir. Sendo que a face mais rugosa diminui a trabalhabilidade e para uma dada quantidade de cimento se faz necessário adicionar mais água de amassamento, perdendo no que se refere a sua resistência integral.

O outro componente do concreto, a água de amassamento, não exerce significativa influência na resistência, desde que a água para a produção do concreto seja potável. Orienta-se fazer alguns testes com a água para ver se há influência nas propriedades da mistura, principalmente em relação a resistência mecânica.

A zona de transição também é um importante fator na resistência do concreto, pois segundo Mehta e Monteiro (2014) é considerada como a fase limitante da resistência do concreto. A zona de transição é a interface entre o agregado e a pasta, o local onde a exsudação interna fica retida, sendo onde o concreto comum inicia a ruptura.

Segundo os mesmos autores, dependendo de algumas características do agregado, como dimensão máxima característica e granulometria, é possível ter grande diferença na relação a/c entre a matriz argamassa e a zona de transição na interface, ou seja, se manter os demais fatores constantes e aumentar o diâmetro máximo característico, mais alto será a relação a/c localizada na zona de transição da interface e, conseqüentemente menos resistente e mais permeável será o concreto.

Por fim, a temperatura também influencia na resistência do concreto, de modo que quando o concreto é moldado e curado a uma temperatura compreendida entre 5 °C e 46 °C, a cura é mais rápida e há ganho de resistência mecânica mais rapidamente quando as temperaturas são mais elevadas. Verifica-se ainda que os corpos de prova moldados e curados a 5 °C obtiveram cerca de 80% da resistência quando comparados com os moldados e curados a uma temperatura entre 21 °C e 46°C (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

#### **2.1.4.2.2 Durabilidade**

A durabilidade tem significativa importância no concreto quando endurecido. Segundo Mehta e Monteiro (2014), estima-se que em países industrialmente desenvolvidos, cerca de 40% dos recursos da indústria são destinados aos reparos de estruturas de concreto e os outros 60% são aplicados em novas instalações.

O *ACI committee 201* (apud MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 125), define durabilidade do concreto como sendo “sua capacidade de resistir à ação de

intempéries, ataque químico, abrasão, e outras condições em serviço”, ou seja, o concreto será durável se projetado de modo compatível com o ambiente ao que está exposto.

Um constituinte do concreto, a água, transporta íons agressivos para o mesmo, sendo um agente importante para a deterioração do concreto. Segundo Thomaz (1989), caso ocorra a penetração de água contaminada, que pode ser proveniente de chuva, haverá reação com um componente constituinte do cimento e poderá formar o sulfoaluminato tricálcico, sendo que essa reação é de natureza expansiva, assim causando trincas no concreto.

Para que possa ser evitado a penetração de água é necessário que o concreto seja impermeável, sendo que a durabilidade está intrínseca à permeabilidade:

[...] por ser um material cerâmico, o concreto apresenta fragilidade, estando susceptível ao processo de retração que, invariavelmente, culmina com fissuração. [...] A fissura, sempre representará um caminho preferencial para a percolação de água e de agentes agressivos sendo, muitas vezes, o fator determinante da durabilidade do concreto (RECENA, 2002, p. 29).

Segundo Recena (2002), a permeabilidade tem como uma das condicionantes a relação a/c, pois quanto menor a relação a/c, menor a permeabilidade. Porém ao diminuir a relação a/c diminui-se também a plasticidade, sendo possível o uso de aditivos plastificantes, que aumentam a trabalhabilidade.

Contudo, se a relação a/c for baixa e o volume da pasta não for suficiente para preencher os vazios do agregados miúdos, o concreto se apresentará com maior porosidade e permeabilidade, conseqüentemente com menor durabilidade. Acredita-se que em condições normais do ambiente de exposição do concreto, a relação a/c de 0,50 garante a impermeabilidade do mesmo (RECENA, 2002).

#### **2.1.4.2.3 Variações e volume**

As variações de volume no concreto após sua cura são extremamente prejudiciais para que o mesmo continue exercendo suas funções, pois as mesmas causam fissuras, facilitando a entrada de agentes externos que podem prejudicar a durabilidade do concreto.

Para Petrucci (1998) as deformações provêm do resultado da soma de três fatores:

- a) Variação do volume absoluto dos elementos ativos que se hidratam;
- b) Variação do volume de poros internos, com água ou ar;
- c) Variação do volume do material sólido inerte.

As deformações causadas por esses três fatores “variam diretamente com o teor de cimento e a relação água/cimento, tendo também influência o tipo e a graduação dos agregados.” (PETRUCCI, 1998, p. 103). O mesmo autor faz uma comparação, como verifica-se no quadro 3, entre o diâmetro do agregado máximo e o *slump*, chegando a conclusão de que quanto maior o diâmetro máximo do agregado e menor o *slump*, menor será a retração inicial.

Quadro 3 - Comparação dimensão máxima do agregado e *slump*

DIÂMETRO (mm)	SLUMP (cm)	RETRAÇÃO
19	5	0,00063
	10	0,00071
	15	0,00079
38	5	0,00044
	10	0,00050
	15	0,00056
50	5	0,00037
	10	0,00041
	15	0,00045

Fonte: Petrucci (1998, p. 104)

Para que o concreto obtenha bom desempenho em todas as características comentadas, é necessário que se faça um proporcionamento dos materiais que serão utilizados na sua fabricação. A proporção dos componentes é feita por meio de métodos de dosagem, os quais são escolhidos com referência nas propriedades que se pretende alcançar.

## 2.2 Métodos de dosagem

### 2.2.1 Breve histórico

Conforme Helene e Terzian (1995, p. 56), no ano de 1828 na França, Louis J. Vicat publicou “informações que o colocam como o precursor dos conhecimentos atuais sobre a importância da quantidade de água de amassamento e da granulometria da areia na resistência das argamassas.” Vicat ainda escreveu sobre as vantagens de misturar areias grossas com areias finas e sobre como o excesso de água deixa a mistura fluida.

Com o crescimento do conhecimento sobre os cimentos Portland e o aumento do uso do mesmo em obras de construção civil, “há um correspondente aumento no estudo e conhecimento dos conglomerados e da influência da natureza e proporção dos seus materiais constituintes.” (TERZIAN; HELENE, 1995, p. 56).

Ainda segundo os mesmos autores, em 1918 Duff A. Abrams publicou os resultados de mais de 50.000 corpos de prova, no qual o mesmo chegou à conclusão que a resistência é inversamente proporcional à relação a/c. Abrams introduziu o termo módulo de finura, que serve para representar a distribuição granulométrica dos agregados, além da noção de trabalhabilidade, que era medida pelo abatimento em um ensaio feito com um cilindro de 15cm de diâmetro e 30cm de altura. Em 1922 o cilindro foi modificado e originou em um cone com 30cm de altura e bases de 10 cm e 20 cm, sendo esse o único método utilizado no Brasil até no ano de 1986.

No Brasil, no ano de 1927, o engenheiro Ary Frederico Torres publicou o Boletim Epusp número 1 intitulado “Dosagem dos Concretos”. O documento correlaciona a resistência a compressão do concreto endurecido e a compacidade do mesmo no estado fresco. Foi Ary quem introduziu no Brasil a prática de ensaio em corpos de prova cilíndricos, assim substituindo os corpos de prova cúbicos que eram usados até então (TERZIAN; HELENE, 1995).

Com o passar do tempo vieram muitos estudos sobre o tema, os quais contribuíram para a evolução dos métodos de dosagem. Vale ressaltar que os mais

influentes foram Ary Torres e Carlos Eduardo Rosman, que deram início ao método de dosagem de concreto ABCP, e Eládio Petrucci que ao publicar no ano de 1963 o livro “Concreto de cimento Portland” apresentou um método de dosagem que foi adotado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

Por fim, no ano de 1984, Públio Penna Firme Rodrigues publicou, pela ABCP, um estudo denominado “Parâmetros de Dosagem do Concreto”, que na verdade representa uma versão atualizada, moderna, simples e objetiva do método de dosagem americano, descrito no ACI 211.1.. O mesmo incorporou relações aperfeiçoadas que se desenvolveram de 1956 em diante, tornando os métodos de dosagem mais simples e objetivos (TERZIAN; HELENE, 1995).

### 2.2.2 Definição

Recena (2002) define dosagem de concreto como sendo,

“... o processo através do qual são escolhidos os materiais, dentre os disponíveis, e determinado o melhor proporcionamento entre cimento, agregados, aditivos e adições, com o objetivo de obter-se um material que atenda a determinados requisitos físicos, químicos e mecânicos, ao menor custo possível. Dosar concreto, sob alguns aspectos, pode ser entendido como a administração de aspectos conflitantes já que a maior economia nem sempre está associada à melhor trabalhabilidade, à maior durabilidade ou até mesmo à maior resistência mecânica (RECENA, 2002, p. 16).

Para Mehta e Monteiro (2008) e Recena (2002) a dosagem de concreto é considerado uma arte, pois para se obter todas as características do concreto, tanto em seu estado fresco, quanto em seu estado endurecido, é uma tarefa desafiadora.

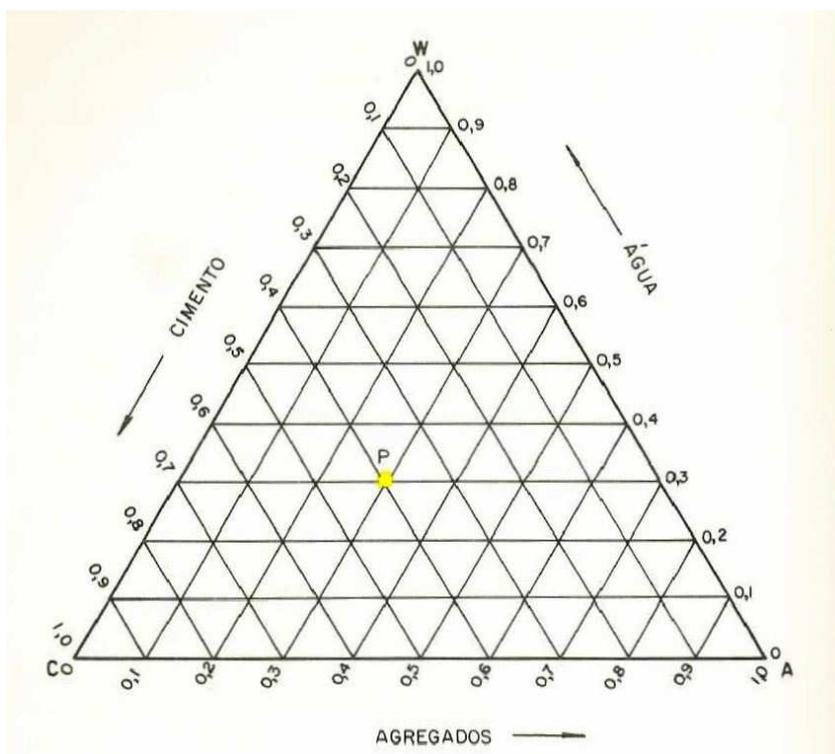
O objetivo da dosagem, pode ser definido como a seleção de componentes adequados para que se obtenha um custo baixo e atinja certas características mínimas de desempenho. Uma das limitações que o engenheiro possui ao dosar o concreto é o volume, não se pode aumentar um componente sem que haja a diminuição de outro. Ao se adicionar água a mistura para a obtenção de maior trabalhabilidade, por exemplo, teremos que descontar o volume de outro componente, tornando a tarefa complexa (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Rodrigues (1984) exemplifica a dosagem partindo da hipótese de que o volume unitário a ser obtido seja de  $1\text{m}^3$ , sendo este a somatória dos volumes

absolutos de cimento, agregados e água. Na figura 1, pode-se ver de forma simples as possibilidades de proporcionamento, onde o ponto "P" representa a composição de um concreto com  $0,4\text{m}^3$  de cimento,  $0,3\text{m}^3$  de agregados e  $0,3\text{m}^3$  de água. Convertendo os volumes absolutos para massa e usando os valores utilizados pelo autor (3,15; 2,60 e 1,00, respectivamente), teremos um concreto com 1.260 Kg de cimento, 780 Kg de agregados e 300 Kg de água, obtendo um concreto com  $2.340\text{ kg/m}^3$ .

Porém, o concreto obtido pelo exemplo se torna inviável devido à grande presença de cimento, pois além de se tornar caro, não há água suficiente para a hidratação do cimento, e sem o uso de algum aditivo plastificante a trabalhabilidade fica debilitada já que a relação  $a/c$  é de aproximadamente 0,23. Com isso foi provado que não são todas as proporções úteis para a obtenção de um concreto prático.

Figura 1 - Diagrama ternário



Fonte: Rodrigues (1984, p. 2)

Para que a dosagem seja considerada satisfatória se faz necessária a verificação de alguns pontos que considera-se essencial para tal, pois é de

responsabilidade do engenheiro fazer com que o concreto fabricado atenda à todas as necessidades para as quais foi projetado.

### **2.2.3 Considerações sobre dosagem**

Para Mehta e Monteiro (2014) existem 4 fatores importantes que devem ser considerados na dosagem:

- Custo;
- Trabalhabilidade;
- Resistência;
- Durabilidade.

#### **2.2.3.1 Custo**

Para Mehta e Monteiro (2014) os componentes do concreto são escolhidos a fim de que sejam tecnicamente aceitáveis e economicamente atrativos. A consideração chave que deve ser feita a respeito da dosagem é que o cimento custa muito mais caro que os agregados, portando se for possível diminuir o consumo de cimento e manter as características especificadas a dosagem terá sido satisfatória.

#### **2.2.3.2 Trabalhabilidade**

“A trabalhabilidade do concreto fresco tem efeito direto na capacidade de bombeamento e na construtibilidade, porque determina a facilidade com que uma mistura de concreto pode ser manipulada sem que haja segregação prejudicial” (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 356).

Como dito anteriormente, a trabalhabilidade é medida pelo *slump test*, sendo que o fator chave nos custos do projeto do concreto é o consumo de água, e a mesma tem relação diretamente proporcional com o abatimento. Segundo Mehta e Monteiro (2014), para que haja redução no consumo de água:

- a) Aumenta-se a dimensão máxima de um agregado de boa granulometria;
- b) Reduz-se o teor de partículas angulosas e de textura áspera no agregado;
- c) Aumenta-se a quantidade de ar incorporado na mistura de concreto e;
- d) Utiliza-se cinzas volantes em substituição parcial do cimento.

Ainda segundo os mesmos autores, o abatimento é uma medida grosseira da trabalhabilidade e pode considerar-se que, com um consumo de cimento adequado e agregados com boa distribuição granulométrica, o concreto terá um grau de coesão considerado satisfatório.

### 2.2.3.3 Resistência mecânica

Ao se projetar uma estrutura, o projetista indica uma resistência mecânica mínima necessária, porém a NBR 12655 (ABNT, 2006) determina que a resistência a ser dosada deve estar acima da resistência mínima que é especificada, ou seja, quando for feita a determinação do traço de concreto deve ser considerada uma resistência maior que a desejada. A chamada resistência de dosagem deve ser obtida com o cálculo indicado na fórmula 1.

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

Onde:

$f_{cj}$  é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de  $j$  dias, em MPa;

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

$s_d$  é o desvio-padrão de dosagem, em MPa.

O  $s_d$  é determinado por uma série de resultados de produção ou obtido por meio do quadro 4, que define o desvio-padrão com base nas condições de preparo. Sendo que as condições de preparo são determinadas em função da classe de concreto e da maneira como os materiais são medidos e a umidade da areia corrigida.

Quadro 4 - Desvio-padrão em função das condições de preparo

Condição do preparo do concreto	Desvio-padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C <sup>1</sup>	7,0
<sup>1</sup> Para a condição de preparo C, e enquanto não se conhece o desvio-padrão, exige-se para os concretos de classe C15 o consumo mínimo de 350 Kg de cimento por metro cúbico	

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2006, p. 15)

### 2.2.3.4 Durabilidade

Devido à resistência e a durabilidade estarem relacionadas com a porosidade, que é definida pela relação  $a/c$  e pelo grau de hidratação, a dosagem não leva em conta a durabilidade de forma direta. A trabalhabilidade e a resistência são consideradas como parâmetros para a dosagem. A durabilidade acaba sendo ignorada caso o concreto estiver exposto a um ambiente de condições normais, caso o ambiente for contrário ao normal, deverão ser incorporados aditivos ou ar, para que a durabilidade seja satisfatória (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A NBR 6118 especifica a classe de agressividade do ambiente conforme condições de exposição conforme o quadro 5. Caso não seja possível ensaiar o concreto nas condições ambientais para a qual será destinado e devido à existência da forte ligação entre a relação  $a/c$  e durabilidade, a norma dispõe os requisitos mínimos a serem adotados por meio do quadro 6.

Quadro 5 - Classe 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	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 17)

Quadro 6 - Classe de agressividade e qualidade do concreto com foco em estruturas armadas

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		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
NOTAS					
1 CA corresponde a componentes e elementos estruturas de concreto armado					
2 CP corresponde a componentes e elementos estruturas de concreto protendido					

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 18)

Para que se faça a dosagem dos materiais que compõe o concreto e unir as características desejáveis, deve optar-se por um tipo de dosagem que seja considerado, por quem está projetando, o ideal. Existem dois tipos de dosagem: o empírico e o racional, e para ambos existem uma grande quantidade de roteiros que podem ser seguidos.

#### 2.2.4 Tipos de dosagem

“Com a evolução da tecnologia, a dosagem dos concretos saiu da etapa empírica, caracterizada pelas receitas, para a etapa racional, na qual a composição é obtida em decorrência da aplicação de regra e conceitos definidos.” (RODRIGUES, 1984, p. 16).

A dosagem empírica é baseada na prática de utilização do concreto, e não leva em conta as propriedades dos componentes, as exigências ou as propriedades às quais se pretende atingir nos estados fresco e endurecido do concreto. Não leva em consideração também o fator econômico (RODRIGUES, 1984).

Conforme Terzian e Helene (1995) nos métodos de dosagem empíricos são adotados valores médios para as características do agregado e do cimento, juntamente com isso a relação a/c e outras características do concreto são obtidos por intermédio de curvas ou gráficos, que são resultados de muitos testes realizados em laboratórios. Devido a isso os métodos empíricos resultam em traços com mais segurança, porém com maiores custos. O emprego dos mesmos se justificam em obras com pequeno volume de concreto, onde a superestimação do traço não resulta em custos significativos se comparado ao valor global da obra.

Já na dosagem racional dos concretos, a determinação dos teores do cimento, agregados e água é feita baseada em fundamentos científicos, levando em consideração as características específicas de cada um dos constituintes, como o tipo de cimento, natureza, forma geométrica e textura superficial dos agregados, características dos moldes e armaduras das peças de concreto. Utilizam-se também, como parâmetros de dosagem, as condições de transporte, lançamento, adensamento do concreto fresco, níveis de resistência ou durabilidade exigidas ao concreto endurecido (RODRIGUES, 1984, p. 17).

O presente estudo foi feito com base no método de dosagem da ABCP, onde os materiais componentes do concreto são caracterizados para obter-se um traço conforme as necessidades apontadas para o mesmo.

### **2.2.5 Método de dosagem da ABCP**

Este método foi baseado no texto da Norma ACI 211.1-81 (*Revised 85*) – *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*, pois após serem confeccionados aproximadamente 150 traços de concreto, chegou-se à conclusão de que o método americano “atendia perfeitamente aos requisitos de simplicidade e eficiência, havendo, entretanto, necessidade de se fazer alguns ajustes para as condições brasileiras” (RODRIGUES, 1984, p. 21).

Segundo Isaia (2011), o método abrange resistências à compressão, aos 28 dias, que ficam na faixa entre 15 Mpa e 40 Mpa e relações a/c de 0,39 a 0,79. Foi desenvolvido com a vantagem de fornecer um baixo teor de areia, que além de econômico, permite verificar visualmente se a mistura está muito ou pouco argamassada.

Ainda segundo o mesmo autor, a desvantagem do método é que as tabelas onde se realiza o proporcionamento dos materiais não abrangem todos os tipos de materiais existentes. E no caso da resistência obtida não ser a esperada é necessário que se faça uma nova dosagem, para corrigir a relação a/c e para se obter uma nova trabalhabilidade com um novo teor de argamassa.

A dosagem feita pelo método da ABCP é baseada na correlação linear que existe entre a proporção relação água/cimento e a proporção agregado/cimento, usando determinados agregados graúdo e miúdo para concreto frescos com a

mesma trabalhabilidade, e mesma coesão dos elementos componentes (PETRUCCI 1998).

Rodrigues (1984) divide o método em três etapas, sendo elas:

- Na primeira etapa os materiais disponíveis são caracterizados. É realizada a determinação da resistência normal à compressão que se espera atingir após 28 dias; definida a dimensão máxima característica, a massa unitária dos agregados graúdos; o módulo de finura do agregado miúdo e massa específica real dos três materiais.

- Na segunda etapa são determinadas as características que o concreto deve possuir tanto no estado fresco, quanto no endurecido.

- A terceira etapa é subdividida em outras 5 partes e leva em conta as duas primeiras etapas além dos consumos de cimento, água, areia e brita. O método pode ser aplicado em concretos estruturais moldados *in loco* e que utilizem agregados normais. A seguir serão descritas as 5 partes que compõem a terceira etapa.

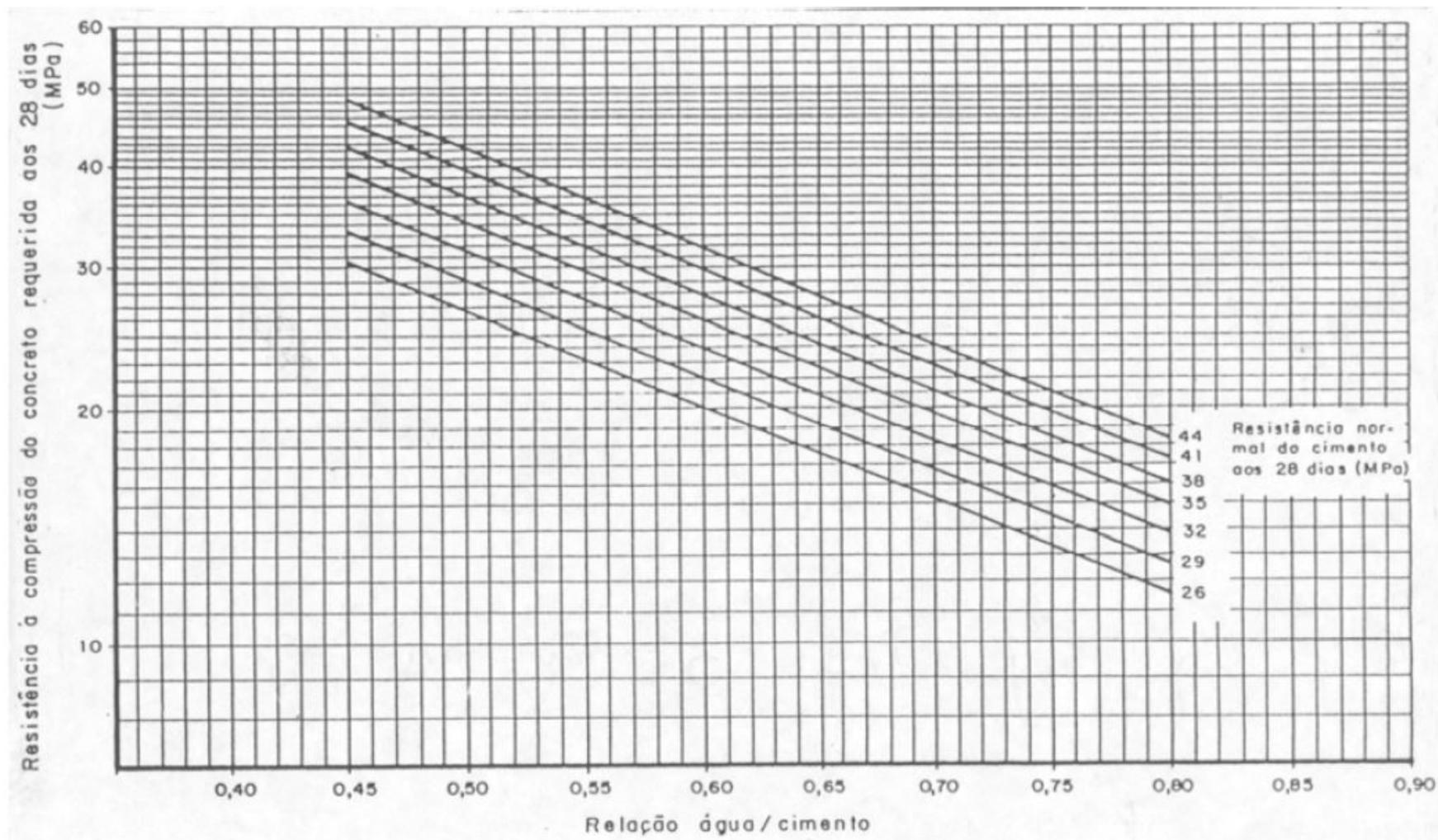
#### **2.2.5.1 Parte 1: Fixação do fator água cimento**

A fixação do fator  $a/c$  deve considerar o grau de proteção ou exposição da superfície do concreto, a agressividade do meio ao qual ficará exposto e a resistência mecânica do concreto. Quanto piores as condições climáticas e ambientais, menor será a relação  $a/c$ .

Para a determinação da resistência mecânica à compressão do cimento após 28 dias usa-se a figura 2. Caso haja alguma exigência de um fator  $a/c$  máximo devido às condições de durabilidade, deve se optar pelo menor valor de  $a/c$  ou maior valor de resistência de modo a garantir que ambas as condições sejam atendidas.

Os valores máximos da relação  $a/c$  em função da classe de agressividade são encontrados no quadro 5.

Figura 2 - Relação entre a relação a/c e a resistência esperada após 28 dias



Fonte: Bucher apud Boggio (2000, p. 53)

### 2.2.5.2 Parte 2: Água estimada por metro cúbico de concreto

Devido a quantidade de água requerida para um concreto, com determinada consistência, ser função principalmente das características dos agregados e do consumo de cimento.

No quadro 7, os valores são fornecidos em função da dimensão máxima dos agregados e consistência do concreto. Temos os valores que devem ser usados como primeira aproximação e referem-se a concretos com agregado graúdo e areia natural.

Quadro 7 - Consumo aproximado de água

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

Fonte: Rodrigues apud Boggio (2000, p. 51)

Caso os agregados utilizados sejam arredondados, a quantidade estimada de água pode ser reduzida de 5 a 15%, dependendo do grau de arredondamento e da textura superficial das partículas.

Os valores de abatimento devem ser baseados na tabela 1.

### 2.2.5.3 Parte 3: Consumo de cimento

“O consumo de cimento (C) por metro cúbico de concreto é obtido dividindo o consumo de água (Cw) pelo fator a/c:” (RODRIGUES, 1984, p.24).

A fórmula 2 descreve o cálculo:

$$C = \frac{Cw}{\left(\frac{a}{c}\right)} \quad (2)$$

Onde:

C é o consumo de cimento

$C_w$  é o consumo de água

$a/c$  é a proporção entre a quantidade de água e de cimento da mistura

#### 2.2.5.4 Parte 4: Consumo de agregado graúdo

O consumo de agregado graúdo por metro cúbico de concreto é em função da dimensão máxima característica e módulo de finura da areia. No quadro 8 temos o volume aparente do agregado graúdo compactado por metro cúbico de concreto em função de dois parâmetros. O consumo de agregado graúdo calcula-se multiplicando o valor encontrado no quadro 8 pela massa unitária do agregado em estado compactado.

Quadro 8 - Volume compactado seco de agregado graúdo por  $m^3$  de concreto em função do módulo de finura da areia e dimensão máxima característica do agregado graúdo

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo $D_{mc}$ (mm)				
	9,5	19	25	32	38
MF	Volume compactado seco ( $V_{cs}$ ) de agregado graúdo pro $m^3$ 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

Fonte: Rodrigues apud Boggio (2000, p. 55)

### 2.2.5.5 Parte 5: Consumo de agregado miúdo

O consumo de areia ( $C_a$ ) por metro cúbico de concreto fresco é obtido pela diferença entre a soma dos valores dos demais constituintes (cimento, areia e brita) em relação a 1 m<sup>3</sup> de concreto, ou seja, todos os outros componentes do concreto são somados e a diferença faltante para 1m<sup>3</sup> é preenchida com areia.

$$V_a = 1 - \left( \frac{C}{\rho_c} + \frac{C_b}{\rho_b} + C_w \right) \quad (3)$$

Onde:

$V_a$  é o volume absoluto da areia

$C$  é o consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto

$C_b$  é o consumo de agregado graúdo por m<sup>3</sup> de concreto

$C_w$  é o consumo de água por m<sup>3</sup> de concreto

$\rho_c$  é a massa específica do cimento

$\rho_b$  é a massa específica da brita

Sendo assim o consumo de areia ( $C_a$ ) é:

$$C_a = \rho_a \times V_a \quad (4)$$

Onde  $\rho_a$  é a massa específica da areia.

### 2.2.6 Determinação do traço unitário

Após a determinação das quantidades de materiais para um m<sup>3</sup> de concreto é possível a determinação de um traço unitário, em massa de materiais secos, que é representado pelas proporções dos materiais em relação ao cimento.

Os traços geralmente são dados da seguinte maneira: cimento : areia : brita : água. Por exemplo, os traços encontrados pelo método de dosagem da ABCP são

dados em massa, se for encontrado um traço de 1 : 1,61 : 2,78 : 0,49 significa que será usado 1,61 Kg de areia para 1 Kg de cimento, 2,78 Kg de brita para 1 Kg de cimento e 0,49 Kg de água para 1 Kg de cimento.

## **3 METODOLOGIA DE PESQUISA**

### **3.1 Introdução**

O estudo tem como objetivo correlacionar os materiais, componentes do concreto, mais facilmente encontrados na Região do Vale do Taquari com o método de dosagem da ABCP. O estudo possibilita a verificação do resultado de moldagem, comparando os resultados encontrados com o esperado a partir da teoria do método, e a discussão sobre quais os fatores que influenciam tal diferença. Para isso foi realizado a caracterização dos agregados e do cimento usados para a determinação dos traços.

Os ensaios foram realizados em laboratório conforme as normas vigentes para tais.

Este capítulo descreve os materiais e a metodologia usada para a realização do estudo.

### **3.2 Materiais**

#### **3.2.1 Aglomerante (cimento)**

O cimento utilizado foi o CPIV-32 (Cimento Portland pozolânico), que é descrito segundo a NBR 5736 como “aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland, gesso, e materiais pozolânicos, moídos em

conjunto ou em separado” (ABNT, 1991, p. 2), sendo o clínquer constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas.

A NBR 5736 (ABNT, 1991) traz o quadro 9 que contém as exigências físicas e mecânicas.

Quadro 9 - Exigências físicas e mecânicas

Características e propriedades		Unidade	Limites	
			CP IV-25	CP IV-32
Finura (resíduo na peneira 75µm)		%	-8	-8
Tempo de início de pega		h	1	1
Expansibilidades a quente		mm	-5	-5
Resistência à compressão	3 dias de idade	MPa	8	10
	7 dias de idade	MPa	15	20
	28 dias de idade	Mpa	25	32

Fonte: NBR 5736 (ABNT, 1991, p.4)

Como complemento do quadro 9 há um anexo no qual apresenta as classes de resistência esperadas após 28 dias. Sendo que após 28 dias a resistência do cimento CP IV-25 deve ter seu limite inferior de 25 Mpa e máximo de 42 Mpa, e o cimento CP IV-32 deve apresentar um limite inferior de 32 Mpa e máximo de 49 Mpa.

Para calcular o traço utilizando o método da ABCP, é necessário que se conheça a massa específica do Cimento Portland CPIV-32, sendo que a mesma foi obtida por meio de ensaio específico para esse fim, conforme NBR NM 23 (ABNT, 2000), chegando no resultado de 2.618,47 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.2 Agregado miúdo (Areia)

O agregado miúdo utilizado para o trabalho foi a areia quartzosa proveniente de rio, adquirida pelo Laboratório de Tecnologia da Construção (LATEC), situado na Univates, cidade de Lajeado/RS.

As caracterizações foram feitas utilizando ensaios normatizados, os quais são: Determinação da massa específica, regido pela NBR NM 52 (ABNT, 2002) e determinação do módulo de finura, regido pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os resultados obtidos pelos ensaios estão apresentados no quadro 10.

Quadro 10 - Resultado da caracterização agregado miúdo (areia)

Caracterização granulométrica (areia) - ABNT NBR NM 248 (2003)		
Peneira	% retida	% retida acumulada
9,5mm	0,51	0,51
6,3mm	0,52	1,03
4,75mm	0,46	1,50
2,36mm	1,68	3,17
1,18mm	2,92	6,10
600µm	8,95	15,05
300µm	55,07	70,12
150µm	23,43	93,55
Fundo	6,45	100,00
Módulo de finura		1,90
Dimensão máxima característica		2,4
Massa específica (areia) - ABNT NBR NM 52 (2002)		2,628 Kg/dm <sup>3</sup>

Fonte: Autor, 2016

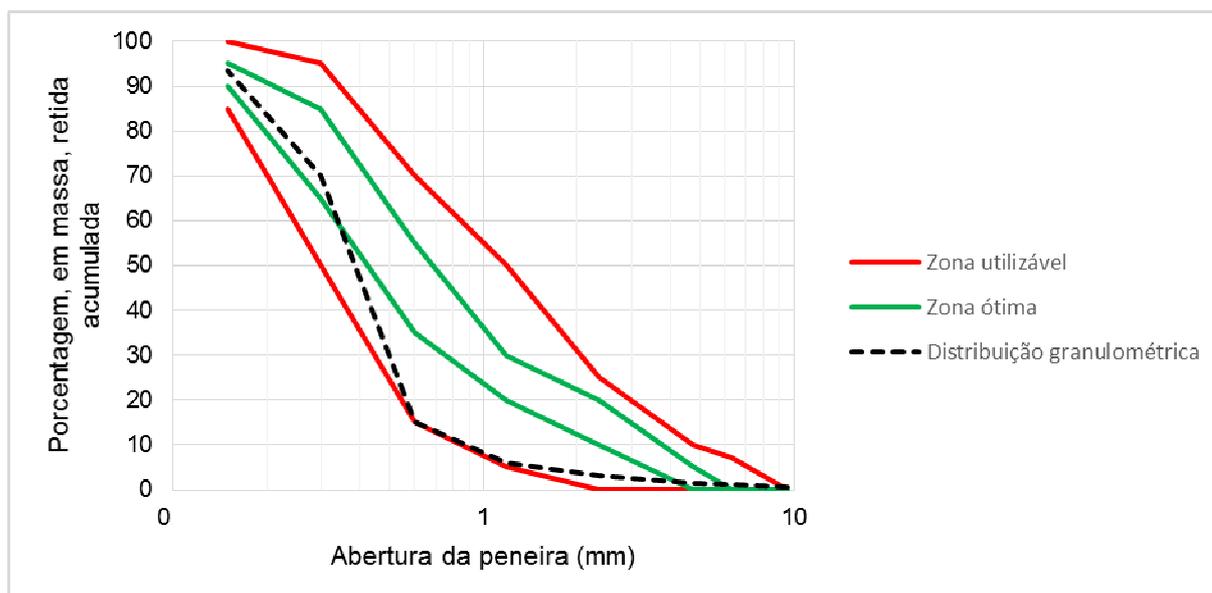
A figura 3 foi elaborada com base no quadro 10, onde estão definidos os limites utilizáveis e ótimos do agregado miúdo, e na composição granulométrica do agregado utilizado no trabalho. Conforme verifica-se, o mesmo se encaixa na zona utilizável inferior, pois seu módulo de finura está compreendido entre 1,55 e 2,20. Para Petrucci (1998) o agregado utilizado ainda pode ser classificado como areia fina, pois ele classifica as areias finas como tendo o módulo de finura menor do que 2,40.

Quadro 11 - Limite da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90				
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20				
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50				

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2009, p. 5)

Figura 3 - Comparação das curvas granulométricas da areia



Fonte: Autor, 2016

### 3.2.3 Agregado graúdo

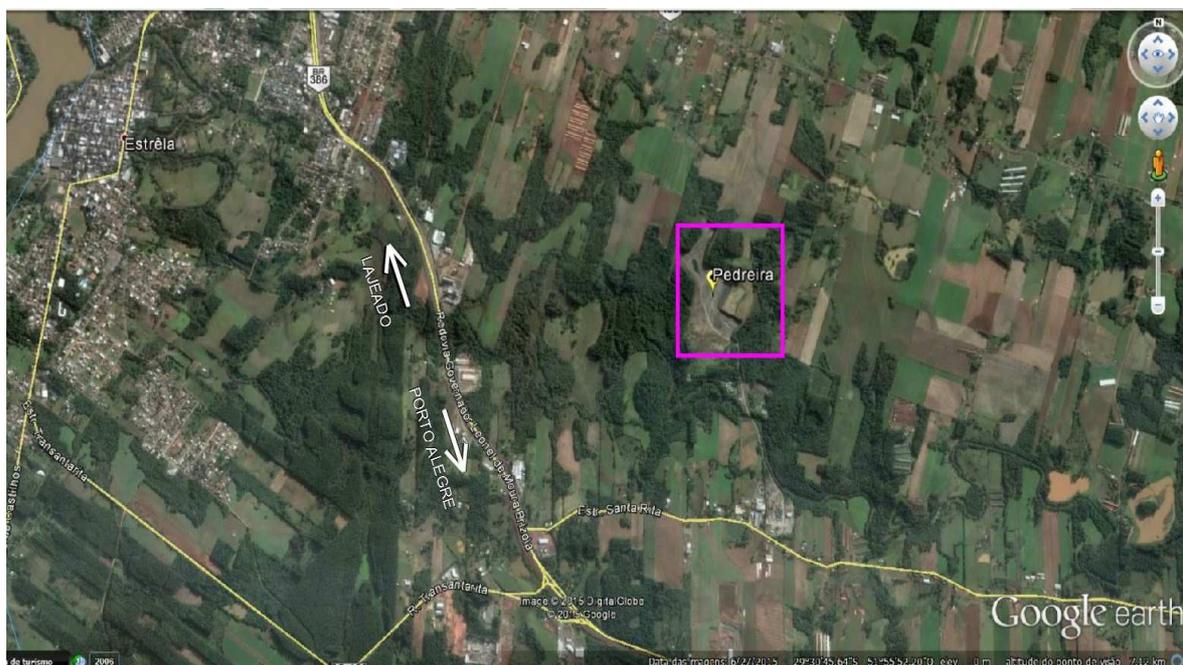
Para a realização do estudo foram usados agregados da pedreira da empresa Conpasul Construção e Serviços Ltda., localizada na Estrada Santa Rita na cidade de Estrela/RS a aproximadamente 110 Km de distância da capital Porto Alegre, conforme a figura 4, a qual indica a localização da mesma. Os agregados fornecidos pela empresa estão à disposição para a compra no mercado local.

De acordo com o mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul as rochas são provenientes de

derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, contendo horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e *pahoehoe* comuns, intercalações com arenitos Botucatu (CRPM, 20--?, texto digital).

As caracterizações feitas seguem ensaios normatizados, os quais são: Determinação da massa específica, regido pela NBR NM 53 (ABNT, 2009); determinação da dimensão máxima característica do agregado, regido pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) e massa unitária, regido pela NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Figura 4 - Localização da pedreira



Fonte: Google Earth – adaptado pelo autor (2016)

Foram utilizadas duas granulometrias de agregados graúdos para a realização do trabalho, cujo diâmetro máximo é 12,50mm e 19,00mm, que segundo Petrucci (1998), podem ser definidas como brita 0 e brita 1 (figura 5). Os resultados dos ensaios estão expressos nos quadros 12 (brita 0) e 13 (brita 1).

Quadro 12 - Resultado da caracterização agregado graúdo (brita 0)

Caracterização granulométrica (brita 0) - ABNT NBR NM 248 (2003)		
Peneira	% retida	% retida acumulada
12,50 mm	0,25	0,25
9,50 mm	31,03	31,28
6,30 mm	60,38	91,66
4,75 mm	6,81	98,47
2,36 mm	0,30	98,77
1,18 mm	0,08	98,85
0,60 mm	0,03	98,87
0,30 mm	0,01	98,88
0,15 mm	0,02	98,90
Fundo	1,10	100,00
Módulo de finura		7,24
Dimensão máxima característica - ABNT NM 248 (2003)		12,5mm
Massa específica (brita) - ABNT NBR NM 53 (2009)		2,741 Kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária compactada (brita 12,5mm) - ABNT NBR NM 45 (2006)		1,545 Kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária sem compactação (brita 12,5mm) - ABNT NBR NM 45 (2006)		1,405 Kg/dm <sup>3</sup>

Fonte: Autor, 2016

Quadro 13 - Resultado da caracterização agregado graúdo (brita 1)

Caracterização granulométrica (brita1) - ABNT NBR NM 248 (2003)		
Peneira	% retida	% retida acumulada
19,00 mm	3,77	3,77
12,50 mm	75,70	79,47
9,50 mm	19,08	98,55
6,30 mm	0,46	99,01
4,75 mm	0,07	99,08
2,36 mm	0,03	99,11
1,18 mm	0,02	99,13
0,60 mm	0,01	99,14
0,30 mm	0,01	99,15
0,15 mm	0,02	99,17
Fundo	0,83	100,00
Módulo de finura		7,97
Dimensão máxima característica		19
Massa específica (brita) - ABNT NBR NM 53 (2009)		2,741 Kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária compactada (brita 19mm) - ABNT NBR NM 45 (2006)		1,540 Kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária sem compactação (brita 19mm) - ABNT NBR NM 45 (2006)		1,432 Kg/dm <sup>3</sup>

Fonte: Autor, 2016

Figura 5 - Brita 0 e brita 1 respectivamente



Fonte: Conpasul (2016)

### 3.3 Cálculo do traço unitário

Após feitas as caracterizações dos componentes utilizados para a fabricação do concreto, foram escolhidos com base no gráfico 2 três relações a/c (0,45; 0,55 e 0,65), e com base no quadro 7 foi escolhida a faixa de abatimento do tronco de cone, sendo ela de 80 a 100 mm. Com todos os parâmetros de ensaio definidos, foi feito o cálculo dos traços unitários baseando-se no método de dosagem ABCP, explicado passo-a-passo na seção 2.2.5 do presente trabalho.

Os traços unitários obtidos estão apresentados no quadro 14.

Quadro 14 – Traços unitários definidos por meio do método de dosagem da ABCP

	Relação a/c	Traços unitários				
		Identificação	Cimento	Areia	Brita	Água
Brita 12,50 mm	0,45	A-45	1	1,12	1,92	0,45
	0,55	A-55	1	1,59	2,35	0,55
	0,65	A-65	1	2,06	2,77	0,65
Brita 19 mm	0,45	B-45	1	1,12	2,57	0,45
	0,55	B-55	1	1,59	3,14	0,55
	0,65	B-65	1	2,06	3,71	0,65

Fonte: Autor, 2016

O quadro 15 apresenta a quantidade de material utilizado para a fabricação do concreto e o teor de argamassa de cada traço.

Quadro 15 - Quantidade de material utilizado e teor de argamassa de cada traço

Traço	A-45	A-55	A-65	B-45	B-55	B-65
Teor de argamassa	52,40%	52,40%	52,40%	45,20%	45,20%	45,20%
Cimento	11,24 Kg	9,20 Kg	7,78 Kg	10,02 Kg	8,20 Kg	6,94 Kg
Areia	12,54 Kg	14,59 Kg	16,01 Kg	11,21 Kg	13,04 Kg	14,31 Kg
Brita	21,58 Kg	21,58 Kg	21,58 Kg	25,74 Kg	25,74 Kg	25,74 Kg
Água	5,06 Kg	5,06 Kg	5,06 Kg	4,51 Kg	4,51 Kg	4,51 Kg

Fonte: Autor, 2016

Os traços foram reproduzidos e ensaiados para a verificação do abatimento de tronco de cone, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998) e foram moldados corpos de prova para determinação da resistência à compressão, conforme NBR 5738 (ABNT, 2003).

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **4.1 Introdução**

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos durante o programa experimental dos ensaios realizados no concreto, tanto no seu estado fresco, quanto no endurecido.

### **4.2 Concreto no estado fresco**

Um dos resultados do trabalho é referente ao concreto no estado fresco, medindo a consistência por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone, especificado pela NBR NM 67 (ABNT, 1998).

O método de dosagem da ABCP possibilita a dosagem a partir de três faixas de abatimento do tronco de cone, conforme quadro 7, sendo que para o trabalho foi escolhida apenas uma faixa, esta compreendida entre 80 e 100mm. O quadro 7 dá o consumo de água conforme dimensão máxima característica do agregado com base na faixa de abatimento pretendido.

Como dito anteriormente, uma desvantagem do método é de não apresentar valores para mais tipos de materiais, tanto que a brita utilizada (12,50mm) não consta em nenhum quadro do gráfico, então, optou-se pelos valores que corresponde a brita 9,50mm, por ser a mais próxima da utilizada.

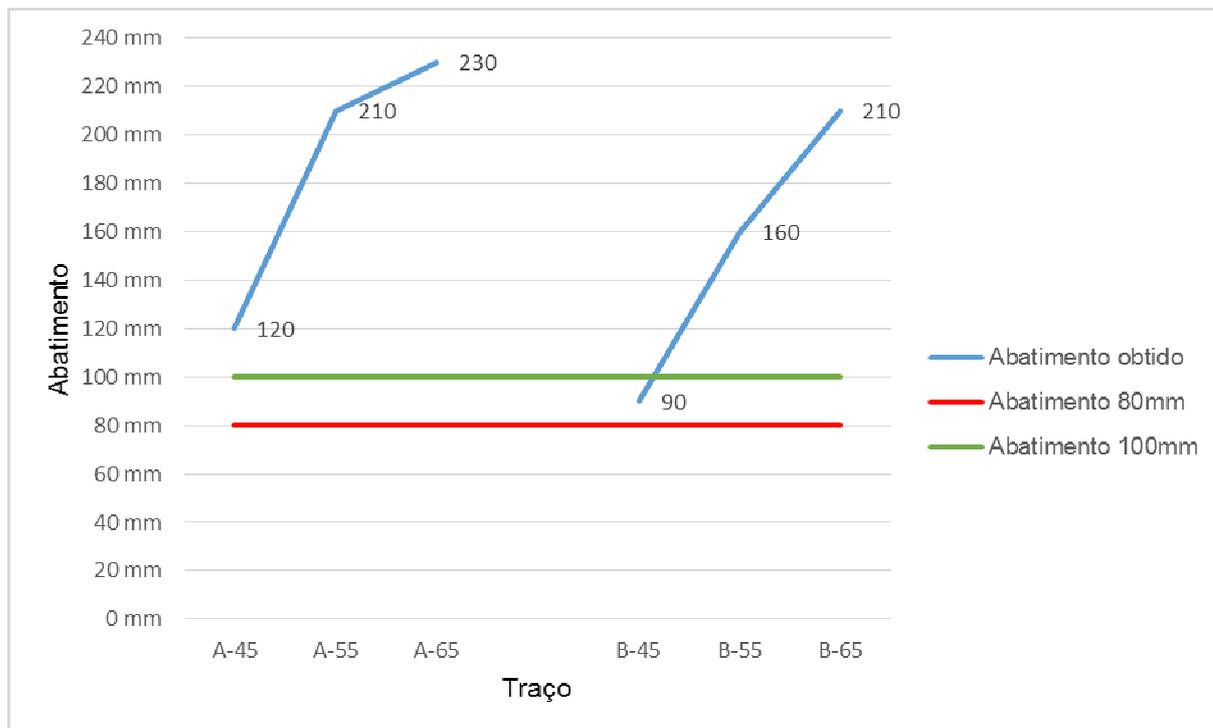
Os valores apresentados no quadro 16, foram obtidos por meio do ensaio regido pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). Com base no quadro foi elaborado o gráfico 2, onde os resultados apresentam-se em forma de gráfico.

Quadro 16 - Resultados dos abatimentos obtidos

	Relação a/c	Abatimento do tronco de cone - NBR NM 67 (ABNT, 1998)	
		Identificação	Abatimento (mm)
Brita 12,50 mm	0,45	A-45	120
	0,55	A-55	210
	0,65	A-65	230
Brita 19 mm	0,45	B-45	90
	0,55	B-55	160
	0,65	B-65	210

Fonte: Autor, 2016

Gráfico 2 - Resultados dos abatimento obtidos



Fonte: Autor, 2016

Como verifica-se no gráfico acima, os resultados dos abatimentos não saíram como o esperado, apenas o traço B-45 obteve o abatimento tabelado pelo método, sendo que os demais estão acima do esperado.

### 4.3 Concreto no estado endurecido

Outra avaliação feita pelo trabalho é referente a resistência à compressão aos 28 dias, onde há uma comparação dos resultados obtidos nos experimentos, com os resultados que se espera obter por meio do método. Para o trabalho, foram escolhidas três relações a/c baseadas na figura 1, que juntamente com a resistência normal do cimento aos 28 dias, indicam a resistência do concreto que se pretende obter nos ensaios.

Após os ensaios de abatimento de tronco de cone, foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos, conforme NBR 5738 (ABNT, 2003), para cada traço. Os mesmos foram rompidos à compressão, conforme NBR 5739 (ABNT, 2007), aos 2, 7 e 28 dias.

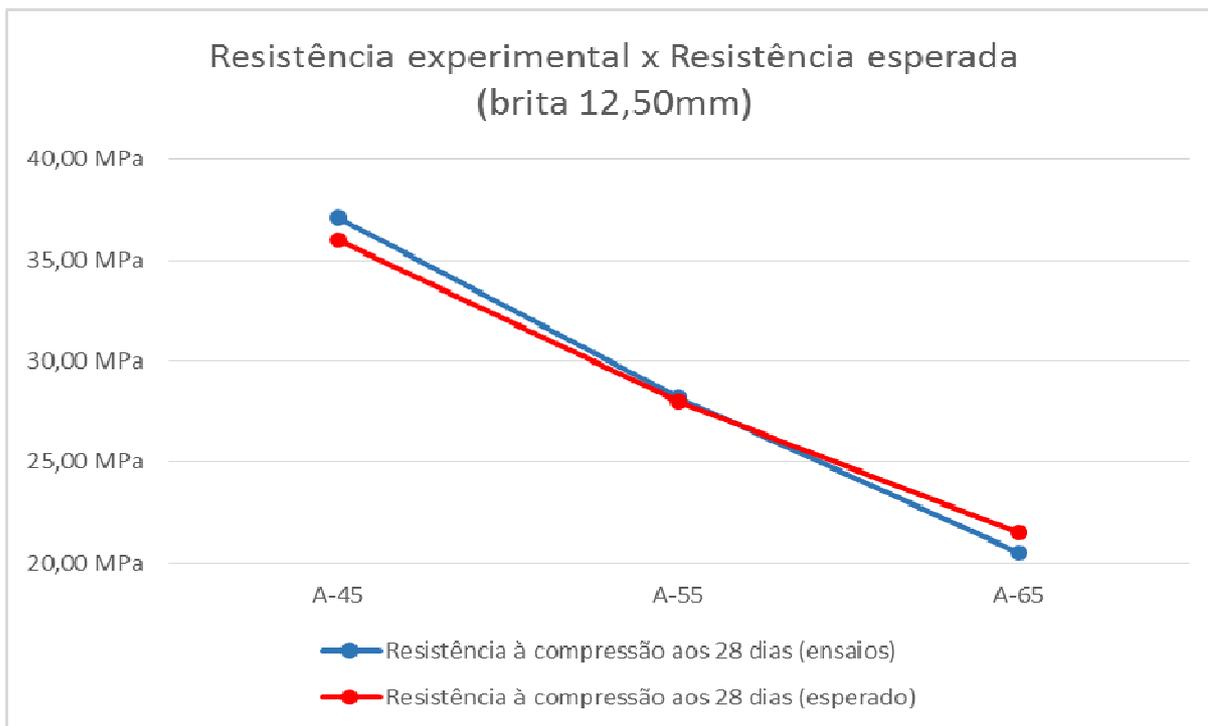
No quadro 17 são apresentadas as comparações entre as resistências obtidas por meio de ensaios com as esperadas segundo a figura 1, e com base no quadro foram elaborados os gráficos 3 e 4, que possibilitam, de forma visual, uma melhor compreensão da comparação.

Quadro 17 - Comparação dos resultados obtidos por meio de ensaio prático e resultados esperados conforme método

Identificação	Relação a/c	Dmc agregado graúdo (mm)	Resistência à compressão aos 28 dias (ensaio)	Resistência à compressão aos 28 dias (esperado)
A-45	0,45	12,5	37,09 MPa	36,00 MPa
A-55	0,55	12,5	28,21 MPa	28,00 MPa
A-65	0,65	12,5	20,51 MPa	21,50 MPa
B-45	0,45	19,0	30,04 MPa	36,00 MPa
B-55	0,55	19,0	20,41 MPa	28,00 MPa
B-65	0,65	19,0	14,92 MPa	21,50 MPa

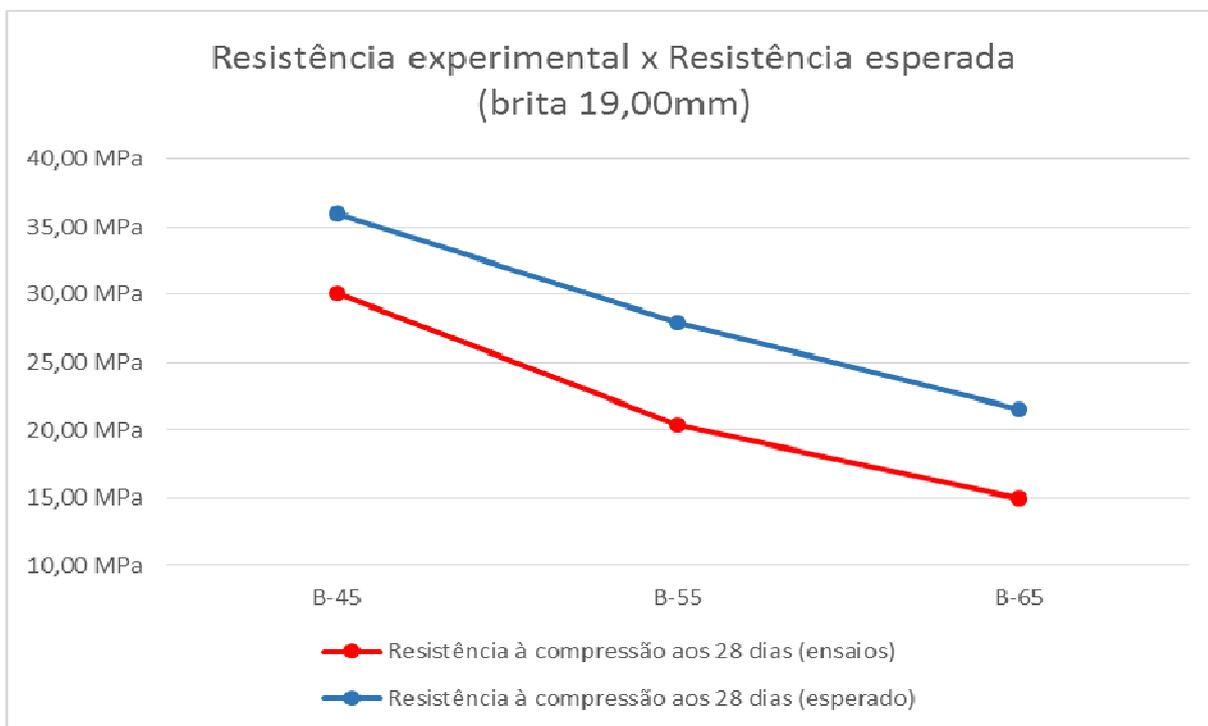
Fonte: Autor, 2016

Gráfico 3 - Resistência experimental x Resistência esperada (brita 12,50mm)



Fonte: Autor, 2016

Gráfico 4 - Resistência experimental x Resistência esperada (brita 19,00mm)



Fonte: Autor, 2016

Com base nos gráficos pode-se notar que apenas as resistências da brita 12,50mm se aproximam do esperado, sendo que a granulometria da mesma não

consta nas tabelas do método, os resultados foram comparados com a da brita 9,00mm. A brita 19,00mm apresenta resultados de resistência à compressão, em média, 24,75% menores que se espera obter.

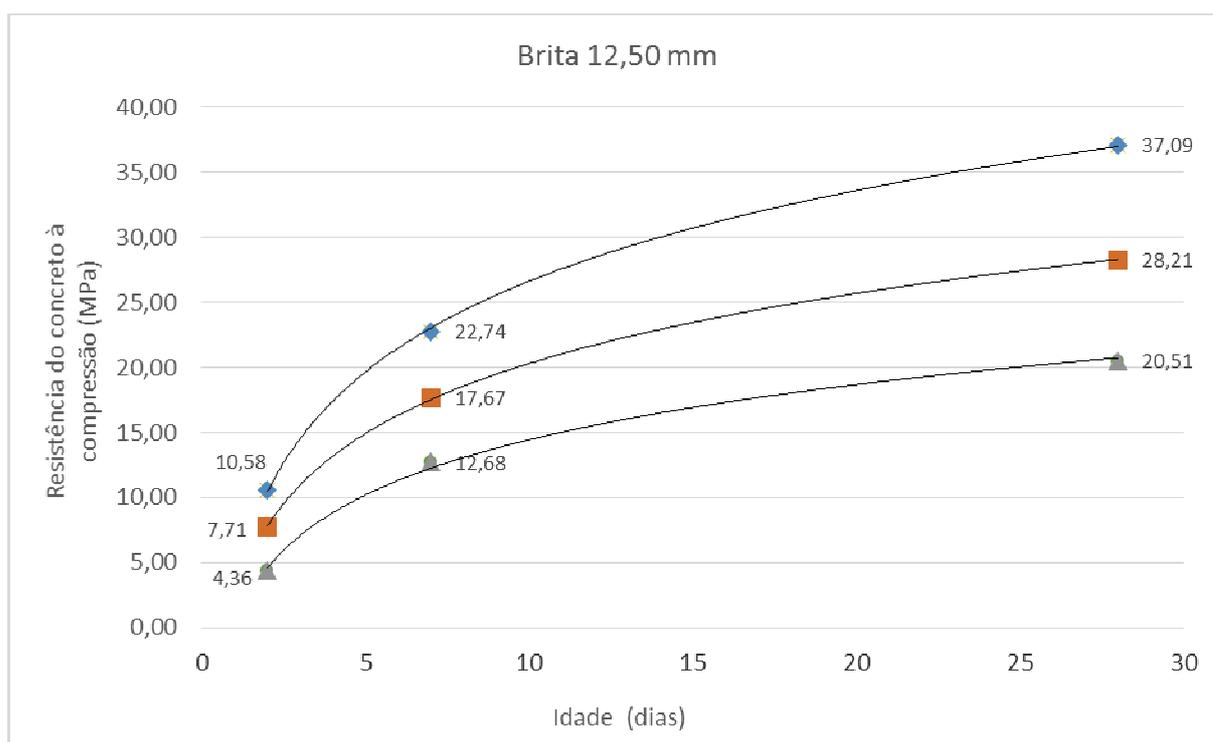
Para cada granulometria de brita foi elaborado um quadro e um gráfico com o ganho de resistência durante o passar dos dias, onde consta uma curva para cada relação a/c ensaiada.

Quadro 18 - Ganho de resistência (brita 12,50 mm)

Idade	2 dias	7 dias	28 dias
Identificação			
A-45	10,58 MPa	22,74 MPa	37,09 MPa
A-55	7,71 MPa	17,67 MPa	28,21 MPa
A-65	4,36 MPa	12,68 MPa	20,51 MPa

Fonte: Autor, 2016

Gráfico 5 - Ganho de resistência (brita 12,50 mm)



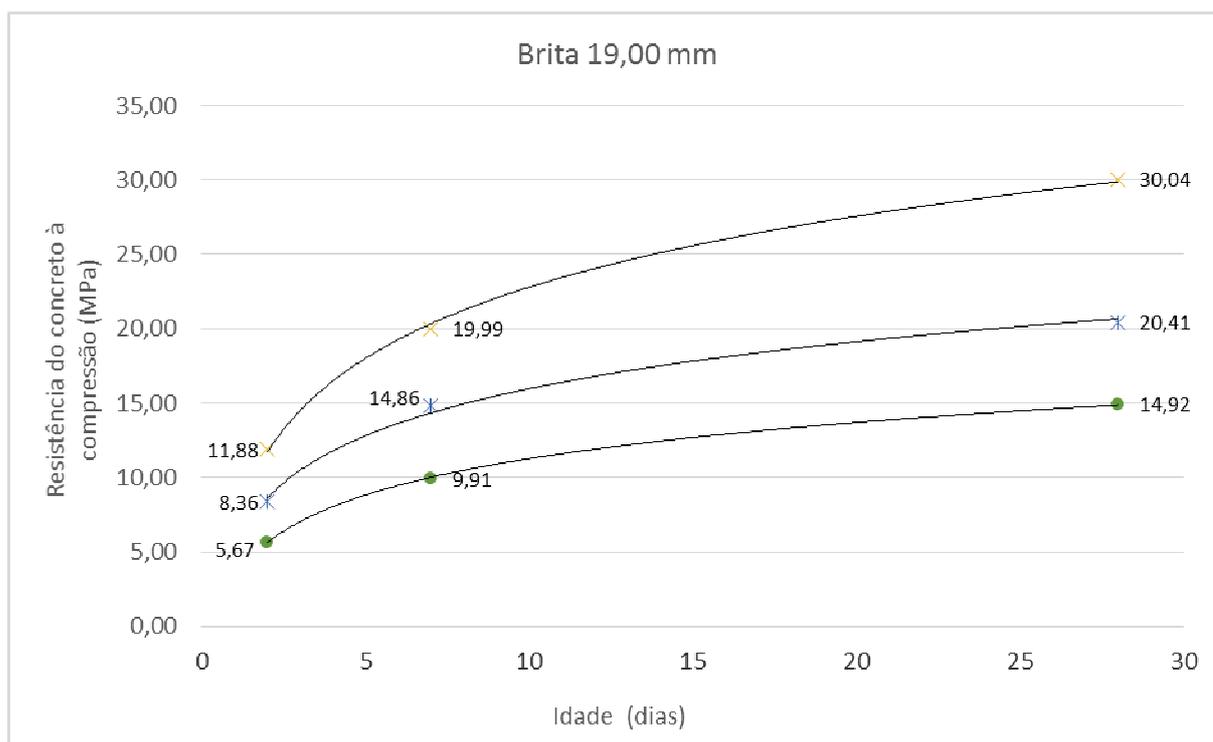
Fonte: Autor, 2016

Quadro 19 - Ganho de resistência (brita 19,00 mm)

Idade	2 dias	7 dias	28 dias
Identificação			
B-45	11,88 MPa	19,99 MPa	30,04 MPa
B-55	8,36 MPa	14,86 MPa	20,41 MPa
B-65	5,67 MPa	9,91 MPa	14,92 MPa

Fonte: Autor, 2016

Gráfico 6 - Ganho de resistência (brita 19,00 mm)



Fonte: Autor, 2016

Nos gráficos 5 e 6 nota-se que há um aumento gradativo de resistência conforme a idade de cura vai aumentando, e também que quanto maior a relação  $a/c$ , ou seja, quanto maior a quantidade de cimento no concreto, maior é a resistência obtida nos ensaios.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho tem por objetivo comparar as propriedades do concreto, tanto em seu estado fresco, quanto endurecido, utilizando os dados encontrados nas tabelas do método de dosagem da ABCP, com os dados obtidos por meio de ensaios feito em laboratório, a partir de dosagem experimental.

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, pôde-se chegar a uma série de conclusões e indicações para trabalhos futuros. As conclusões são apresentadas a seguir:

a) O método de dosagem da ABCP é de fácil entendimento, sendo possível ser feito por profissionais com pouca ou nenhuma experiência em práticas de laboratório.

b) O método considera os principais fatores do concreto, tanto no estado fresco, quanto endurecido, que devem ser levados em conta para a execução de uma obra. Pois apresenta tabelas que contém a quantidade de material necessário para se obter o abatimento e a resistência à compressão requerida.

c) Os ensaios para a obtenção dos resultados são de fácil execução.

d) A partir dos resultados obtidos para o abatimento do tronco de cone, pode-se concluir que a quantidade de água indicada pelo método é maior do que a necessária, fazendo-se necessário o ajuste proposto pelo método, no qual é levado em conta a relação entre o abatimento inicial e o requerido. A correção propõe o

aumento de areia, o que pode fazer com que a mistura tenha um elevado teor de argamassa e um significativo aumento no volume da pasta, tornando o traço antieconômico. O método não leva em conta a forma dos agregados, pois a razão entre o volume e área superficial do agregado, há uma grande influência na demanda de água, de modo que agregados lamelares demandam mais água do que os agregados cúbicos e arredondados. Sendo que os agregados utilizados no trabalho apresentam forma cúbica, possivelmente diferente do agregado que o método usa como base.

e) Os resultados encontrados nos ensaios de resistência a compressão, mostram que com a mesma relação  $a/c$ , mas com britas de diferentes granulometrias, os valores se diferem, indicando haver uma possível influência das propriedades do agregado gráudo nas características mecânicas do concreto. Para a brita com maior diâmetro máximo característico, a resistência encontrada foi menor em todos os traços, o fato pode ser explicado pela zona de transição, mas para confirmação da hipótese, devem ser realizados mais ensaios com maiores diâmetros de brita.

f) O método é limitado a certos materiais utilizados, pois apresenta dados tabelados para apenas algumas granulometrias de brita, tanto que para o trabalho foi utilizado um agregado comumente encontrado na Região do Vale do Taquari e que não se encontra nas tabelas do método.

g) Para a melhor utilização do método seria necessária uma atualização das tabelas, levando em conta uma quantidade maior de materiais utilizados no concreto e adicionando algumas tabelas que levem em conta outras características dos agregados, como a absorção e porosidade.

h) O uso de aditivos também não é considerado no método, se caso fossem considerados aditivos plastificantes ou superplastificantes, não seria necessário modificar a quantidade de areia, nem de aglomerado na mistura. Não impedindo que o uso do mesmo seja feito de forma experimental durante o processo de dosagem.

Como sugestão de posteriores trabalho sugere-se que:

- a) Utilizar outras granulometrias de brita para a obtenção dos resultados do abatimento de tronco de cone e de resistência à compressão;
- b) Usar outra faixa de abatimento para os mesmos agregados, mantendo as mesmas relações a/c;
- c) Considerar diferentes relações a/c, mantendo as mesmas características dos agregados e a mesma faixa de abatimento de tronco de cone;
- d) Adicionar aditivos para os mesmos materiais utilizados no presente trabalho e analisar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS

ABRAMS, Duff A.. **Design of concrete mixtures**. Chicago: [s.n.], 1919.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento**. 7ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projetos de estrutura de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

BOGGIO, Aldo J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concreto de cimento Portland**. 2000. 182 f. Monografia (Pós-graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CARVALHO, João Dirceu de Nogueira. **Sobre a origem e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, v.17, p. 19-28, 2008.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: Planejamento, elaboração e apresentação**. 3ª ed. Lajeado: Ed. Univates, 2015. E-book. Disponível em:<<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 02 fev. 2016.

CONPASUL. **Tipos de brita**. Disponível em:<<http://conpasul.com.br/index.php/conpasul-produtos-servicos/britas/tipos-de-brita>>. Acesso em: 04 jul. 2015.

CRPM – Serviço geológico do Brasil. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília, 20\_?. Disponível em:<[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf)>. Acesso em: 10 outubro 2015

HELENE, Paulo R.L.; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1995.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

POPULAÇÃO mundial vai crescer 53% e chegar a 11,2 bilhões em 2100, diz relatório da ONU. **O Globo**, Rio de Janeiro, 29 jul. 2015. Disponível em:<<http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/populacao-mundial-vai-crescer-53-chegar-112-bilhoes-em-2100-diz-relatorio-da-onu-17003177>>. Acesso em: 3 set. 2015.

PETRUCCI, Eladio G. **Concreto de cimento Portland**. 13ª ed. São Paulo: Globo, 1998.

RECENA, Fernando A. Piazza. **Dosagem empírica e controle de qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 1ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.

RECENA, Fernando A. Piazza. **Retração do concreto**. 1ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014. E-book. Disponível em: <<http://www.univates.br/biblioteca>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Parâmetros da dosagem racional do concreto**. 34ª Reunião de técnicos da indústria do concreto. São Paulo, 1984.

SANTOS, José Augusto Vieira dos. **Concretos com agregado graúdo a partir dos resíduos de cerâmica vermelha**. 2015. 113f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado Profissional em Processos Construtivos e Saneamento Urbano, Universidade Federal do Pará, Belém, jan. de 2015.

THOMAZ, Erico. **Trincas em edifícios: Causas, prevenção e recuperação**. 1ª ed. São Paulo: Pini, 1989.