



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULO NATÃ LOPES DE FREITAS

ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS ABCP E IPT MODIFICADO PARA
DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

MOSSORÓ

2018

PAULO NATÃ LOPES DE FREITAS

**ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS ABCP E IPT MODIFICADO PARA
DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

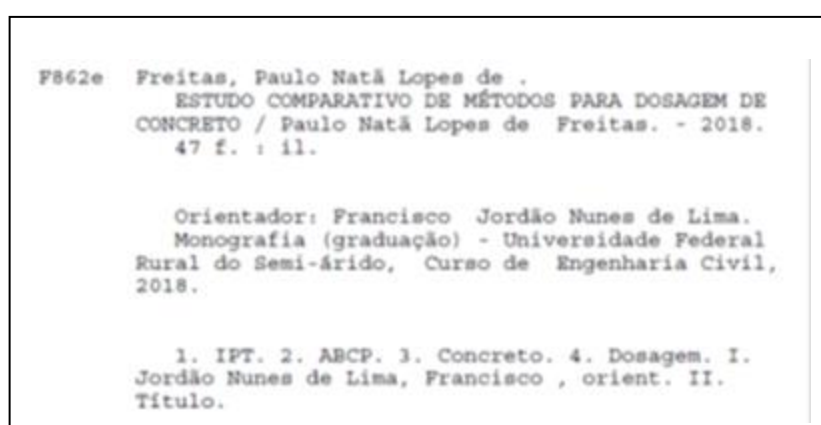
Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Francisco Jordão Nunes
de Lima - UFERSA

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.



O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

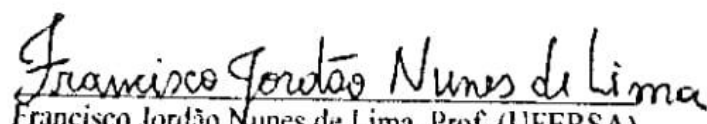
PAULO NATÁ LOPES DE FREITAS

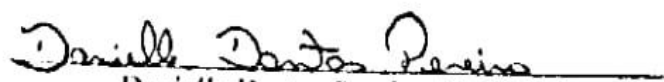
**ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS ABCP E IPT MODIFICADO
PARA DOSAGEM DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

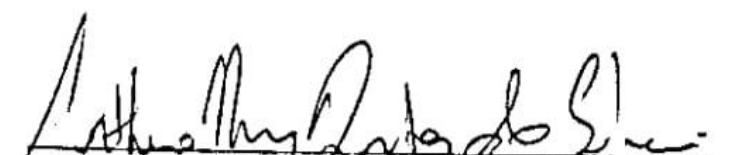
Trabalho Final de Graduação
apresentada a Universidade Federal
Rural do Semi-árido como requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 17 / 09 / 2 018.

BANCA EXAMINADORA


Francisco Jordão Nunes de Lima, Prof. (UFERSA)
Presidente


Danielle Dantas Pereira, Eng. Civil
Membro Examinador


Arthur Munay Dantas da Silveira, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador

A Deus, pela sua infinita misericórdia e proteção.

A meus pais Francisco Givanildo de Freitas e Lucia Maria Lopes de Freitas pelo apoio incondicional.

A meus Avós e meus familiares por sempre ter acreditado e apoiado.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela ajuda e proteção, pela Sua força e presença constante, e por me guiar à conclusão de mais uma preciosa etapa de minha vida;

À meus pais Francisco Givanildo de Freitas e Lucia Maria Lopes de Freitas, que me ensinaram a viver, e que com muita confiança, dedicação, força e amor, me proporcionaram a realização deste sonho;

A minha família pelo apoio incondicional em meio a tantas dificuldades.

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus
planos serão bem-sucedidos.”

Provérbios 16:3

RESUMO

Existem diferentes tipos de traços de concreto que podem ser empregados na construção civil, e essas variações se utilizadas de forma correta podem trazer vários benefícios para a obra. Tanto na resistência a compressão, trabalhabilidade, quanto no custo final de produção. Os métodos de dosagens empregados foram o ABCP e o IPT/Modificado. Onde mostrou-se que o IPT/Modificado se torna mais econômico que o ABCP em 7,67%. Diminuindo o item mais caro do concreto, que é o cimento.

Palavras-chave: IPT. ABCP. Concreto. Métodos de Dosagem.

ABSTRACT

There are different types of work paths that can be useful in construction, and those that are already used can have several advantages for a building site. Both in the resistance and productivity, and in the final cost of production. The dosage methods were used in ABCP and IPT / Modified. Where the IPT / Modified was made more economical than the ABCP at 7.67%. Decreasing the most expensive item of concrete, which is cement.

Keywords: IPT. ABCP. Concrete. Dosage Methods

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de S_d em função do rigor da produção.	11
Tabela 2: Estimativa do Consumo de água por metro cúbico de concreto.	13
Tabela 3: Volume Compactado seco (V_{pc}) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.	14
Tabela 4: Valores Estimados para teores de argamassa seca (α).	17
Tabela 5: Valores estimados de relações água/cimento (x).	17
Tabela 6: Série normal do peneiramento da areia.	20
Tabela 7: Diâmetro característico do Agregado Graúdo.	20
Tabela 8: Análise Granulométrica do Agregado Miúdo.	25
Tabela 9: Dosagem pelo Método ABCP.	26
Tabela 10: Análise Granulométrica do agregado graúdo.	26
Tabela 11: Análise Granulométrica do agregado graúdo.	26
Tabela 12: Dosagem pelo Método ABCP.	27
Tabela 13: Dosagem pelo Método IPT/Modificado.	28
Tabela 16: Resistência a Compressão 28 dias.	29
Tabela 17: Resistência a Compressão 28 dias.	29
Tabela 17: Composição de Custos - Método ABCP.	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cimento (direita) e gesso (esquerda).....	4
Figura 2: Processo de fabricação do cimento.	5
Figura 3: Curva de Abrams	12
Figura 4: Curvas Granulométricas	26
Figura 5: Curvas Granulométricas Agregado Graúdo.....	27
Figura 6: Composição de Materiais e Composição de Custos - ABCP	30
Figura 7: Composição de Materiais e Composição de Custos - IPT/Modificado.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
3.1. AGLOMERANTES	4
3.1.1. Classificação.....	4
3.1.2 Cimento Portland	5
3.2 AGREGADOS	7
3.3 CONCRETO	8
3.3.1 Propriedades do concreto no estado fresco.....	8
3.3.2 Propriedades do concreto no estado endurecido	9
3.4 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO	10
3.4.1 ABCP	10
3.4.2 IPT Modificado	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1. ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
4.2 MATERIAIS.....	19
4.3 MÉTODOS UTILIZADOS.....	20
4.3.1. Ensaio de Granulometria para Agregado Graúdo e Miúdo	21
4.3.2. Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo – NBR NM 45:2006.....	22
4.3.3. Determinação da Massa Unitária dos agregados (NBR NM 45:2001)	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS.....	25
5.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DOSAGEM	27
5.2.1 Método do ABCP	27
5.2.2 Método do IPT Modificado	28
5.3. PROPRIEDADES DOS CONCRETOS.....	28
5.4. ANÁLISE DO CUSTO DE PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	29
6. CONSIDERAÇÕES.....	32
7. REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo o concreto ficou conhecido basicamente como uma mistura de cimento, agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia) e água, ou seja, concreto convencional, sem muitas alterações em suas propriedades mecânicas (MORAVIA, 2007). Contudo a busca pela qualidade do concreto tem aumentando cada vez mais e a necessidade de redução de custos nas obras.

Segundo o Manual do Concreto, produzido pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC), a obtenção de um concreto com qualidade requer inúmeros cuidados no momento do seu preparo. São eles: a escolha dos materiais empregados na mistura, preparação de um traço que garanta a resistência e durabilidade desejada, passando pela homogeneização da mistura, sua correta aplicação e adensamento, até a cura adequada que garanta uma perfeita hidratação do cimento. Com relação aos materiais o cimento tem uma grande importância dentro de uma obra, ele é o principal responsável pela união dos demais insumos utilizados no traço. E a respeito do traço, dosar corretamente o concreto significa respeitar as proporções entre os materiais que garanta suas características fundamentais, como a resistência, durabilidade e trabalhabilidade. Se isso não ocorre consequentemente a sua estrutura pode ser comprometida.

O traço do concreto é a indicação da quantidade dos materiais que o constituem e para isso existem diversos métodos de dosagem, como por exemplos, ABCP/ACI, IPT/EPUSP, Método Americano, Método Britânico. Em especial destacaremos o método da ABCP/ACI que foi desenvolvido baseado no método American Concrete Institute - ACI sendo adaptado para as condições brasileiras, e recomendado para concretos de consistência plástica, utilizando agregado graúdo britado e areia de rio. Este método é experimental fornecendo primeiramente uma aproximação devendo ser executado inicialmente em laboratório para garantir as propriedades.

O método do IPT/EPUSP, a princípio, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, é denominado dessa forma pelo fato de ter passado por atualizações e generalizações feitas na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O método pode ser utilizado em laboratório partindo da resistência característica do concreto aos 28 dias (f_{ck}), do diâmetro máximo dos agregados e da

consistência do concreto, obtendo assim as proporções necessárias de areia e pedra britada para cada unidade de cimento além do fator água/cimento.

O trabalho está organizado em no Capítulo 2 os objetivos gerais e específicos, o Capítulo 3 traz a fundamentação teórica subdividida em aglomerantes e concreto. No Capítulo 4 trata-se dos materiais e métodos onde se mostra as principais características dos métodos ABCP e IPT/Modificado e seus respectivos passos para obtenção dos traços. O Capítulo 5 traz os resultados e discussões. No Capítulo 6 as considerações finais e no Capítulo 7 as referências bibliográficas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Comparar a trabalhabilidade, a resistência a compressão aos 28 dias e o consumo de materiais de concretos produzidos para terem as mesmas propriedades físicas e mecânicas, quando dosado pelo método do ABCP e ITP.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudos sobre a temática;
- Realizar a caracterização dos materiais;
- Produzir traços de concreto convencional pelo método do ACBP e IPT Modificado;
- Realizar ensaios do estado fresco dos concretos produzidos: *slump test*;
- Realizar ensaios do estado endurecido dos concretos produzidos: resistência à compressão na idade (28 dias);
- Comparar os resultados obtidos, analisar o custo de produção dos concretos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo apresenta-se a base teórica do trabalho aqui apresentado abordando os principais temas e conceitos relacionados ao objeto de estudo.

3.1. AGLOMERANTES

Segundo a NBR 11.172 os aglomerantes são tidos como um material ativo, ligante e em geral pulverulento. O aglomerante tem a função de formar uma pasta que promove a união entre os grãos e o agregado segundo Araújo (2000).

São amplamente utilizados para obter argamassas e concretos, em forma de pasta ou na confecção de natas. As pastas é uma mistura de aglomerante com água, muito utilizado para rejuntamento de azulejos e ladrilhos. As natas, por sua vez, são pastas preparadas com excesso de água, podendo serem feitas da cal que são utilizadas em pinturas ou de cimento que são utilizadas sobre argamassas para obter superfícies lisas.

3.1.1. Classificação

Os aglomerantes, segundo a NBR 11.172, podem ser classificados de diferentes formas quanto ao seu princípio ativo, são eles:

- **Aéreos:** aglomerantes aéreos são denominados aqueles que endurecem pela ação química de CO_2 no ar, citando como exemplo a cal aérea (Figura 1).
- **Hidráulicos:** são denominados aglomerantes hidráulicos aqueles que endurecem pela ação da água, como exemplo desse tipo de aglomerante cita-se a cal hidráulica, o cimento Portland. A esse fenômeno dar-se o nome de hidratação.
- **Poliméricos:** são denominados aglomerantes poliméricos aqueles que tem reação devido a polimerização de uma matriz.



Figura 1: Cimento (direita) e gesso (esquerda).

Fonte: Google imagens (2018)

3.1.2 Cimento Portland

Cimento é uma mistura finamente moída de compósitos inorgânicos calcinados (calcário, argila) que, quando combinada com água, endurece. As reações químicas entre os minerais do cimento e a água (reações de hidratação) resultam na pasta que se solidificará com o tempo (IBRACON, 2009).

A combinação do cimento Portland com materiais de diferentes naturezas como areia, pedra, cal, aditivo e outros, resulta na formação de pastas, argamassas e concretos usados na construção de edifícios, pontes, barragens etc. As características e propriedades dessas argamassas e concretos dependem da qualidade e da proporção de cada um dos materiais constituintes, principalmente o cimento Portland (FONSECA, 2010).

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhava na cor e na dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. É por isso que o cimento é chamado cimento Portland (ABCP, 2002).

Atualmente o processo produtivo do cimento compõem basicamente de 6 (seis) etapas desde a sua dosagem até o seu ensacamento. A princípio a mistura crua deve ser dosada e por fim misturada para que seja feita a moagem crua e a sua perfeita homogeneização. Com esse procedimento feito a mistura passa pelo processo de clínquerização onde as temperaturas variam de 1400°C a 1500°C. Após o processo de calcinação, o clínquer passa pelo esfriamento e pela adição final do sulfato de cálcio e as moagens. Após o processo da moagem o cimento é estocado em silos ou ensacado para venda. (NEVILLE, 2013)

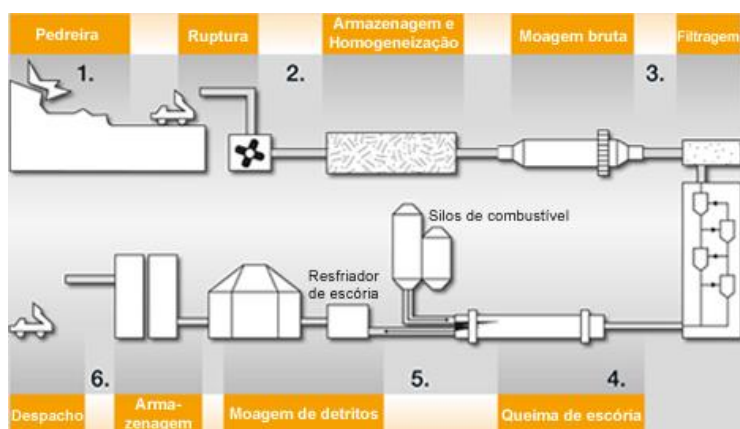


Figura 2: Processo de fabricação do cimento.

Fonte: Google imagens (2018)

3.1.2.1 Tipos de Cimentos

Os principais tipos de cimentos comercializados no mercado brasileiro são apresentados abaixo. Cada um difere em sua composição com a finalidade de atender certas especificações.

- **Cimento Portland Comum – CP I**

O Cimento Portland Comum possui 3 (três) classes de resistência, são elas: 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. Quando esse tipo de cimento possui adição de pozolana a denominação dele fica CP I-S. É utilizado em serviços de construção geral quando não são exigidas propriedades específicas do cimento.

- **Cimento Portland Composto – CP II**

O Cimento Portland Composto possui adições com materiais de baixo custo conferindo-o propriedades especiais, este cimento assim como o CP I possui três classes de resistência, são elas: 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. Com as adições de Escória, Pozolana e Fíler o CP II segundo a NBR 11.578 é subdividido em:

CP II – E: Este tipo contém adição de escória granulada de alto forno, é indicado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento e que possam ser atacados por sulfatos.

CP II – Z – este tipo contém adição de material pozolânico é indicado para obras subterrâneas, marítimas e com presença de água, também indicado para pré-moldados e concreto protendido.

- CP II – F – Este tipo contém adição de material carbonático ou fíler, ainda citando a NBR 11.578 é indicado para obras de concreto armado, indicado também para argamassa de assentamento e revestimento, pisos e pavimentos e com a característica de não ser em meio agressivo.

- **Cimento Portland de Alto Forno – CP III**

O Cimento Portland de Alto Forno tem alto teor de escória que pode variar de 35% a 70%. Segundo a NBR 5735 – Cimento Portland de Alto Forno, este tipo de cimento possui baixo calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade e maior resistência a sulfatos as misturas onde é empregada. Possui também 3 classes de resistência 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa. Este cimento é aplicado em obras de concreto-massa tais como: barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, entre outros usos.

- Cimento Portland Tipo IV – CP IV

Segundo a NBR 5736 – Cimento Portland Pozolânico, O Cimento Portland Tipo IV ou CP IV também pode ser chamado de Cimento Portland Pozolânico tem teor de pozolana entre 15% e 50%, com isso ele é indicado para obras expostas à ação de águas correntes e ambientes agressivos, pois seu teor de pozolana traz alta impermeabilidade e durabilidade as misturas que são empregadas. São fabricados com 2 (duas) resistências a de 25MPa e a de 32 MPa.

- Cimento Tipo V – CP V – ARI –

Segundo a NBR 5733 – Cimento Portland com Alta Resistência Inicial, este tipo de cimento confere alta resistência inicial nas primeiras idades do concreto onde é aplicado. O cimento de Alta Resistência Inicial não possui nenhuma adição especial e pode ser aplicado em blocos de alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. As suas classes de resistência ao primeiro dia são de 14 MPa, no terceiro dia de 24 MPa e no sétimo dia cega a 34 MPa de resistência.

3.2 AGREGADOS

Segundo Petrucci (1982), os agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes e com dimensões e propriedades adequadas para o uso na construção civil. Bauer (2001) define agregados como um material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituem-se de misturas de partículas cobrindo uma extensa gama de tamanhos.

Os agregados têm grande importância econômica na obra, pois seu custo é menor que o cimento e ocupam aproximadamente 75% do volume de 1 m³ de concreto. Os agregados também influenciam nas propriedades do concreto tanto no estado fresco como no endurecido, ajudando na trabalhabilidade, evitando o desgaste por abrasão e na retração por secagem.

Os agregados são de diferentes tipos e tamanhos, com características bastante variável e que configuram ao concreto diferentes propriedades. Por esse motivo Metha e Monteiro (2008) os classificam como quanto: origem, dimensões e peso específico. Os agregados naturais são encontrados na natureza em forma de partículas, já os artificiais têm sua composição particulada obtida através de processos de transformação chegando a

condições de uso. A maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho têm massa unitária entre 1520 e 1680 kg/m³ e produzem concretos normais com aproximadamente 2400 kg/m³ de massa específica.

O agregado miúdo de acordo com a NBR 7211 – Agregados para Concreto - Especificação são as areias naturais ou artificiais com diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8 mm, ou seja, o agregado miúdo é aquele que passa na peneira de 4,8 mm e que fica retido na peneira 150 µm.

3.3 CONCRETO

O concreto é composto basicamente por aglomerantes, agregados graúdos e miúdos e água, podendo também ser adicionados outros materiais que confirmem melhorias ou acrescentem novas características, chamados de aditivos e adições, respectivamente. No Brasil, em geral, é utilizado como aglomerante o cimento Portland, como agregado graúdo a pedra britada e como agregado miúdo a areia de leito de rio. (SILVA, *et al* 2012).

O concreto adequado para utilização na obra deve ser bem trabalhável e consistente. Segundo Neville (2013) a trabalhabilidade do concreto é a quantidade de trabalho interno útil necessário à obtenção do adensamento, e consistência é a resistência da forma de uma substância ou a facilidade com que ela flui. No concreto a consistência é tomada como a medida do grau de umidade.

Apesar do uso intenso, em obras da construção civil, o concreto não deixa de apresentar algumas deficiências importantes que justificam o surgimento de novos concretos.

As principais deficiências que os concretos convencionais apresentam são: baixa relação resistência-peso, dificuldade de preencher peças esbeltas muito armadas, retração plástica, baixa ductilidade e permeabilidade em ambientes úmidos, além do problema da geração de entulhos de construção que contribui com o impacto ambiental. (WATANABE, 2008).

3.3.1 Propriedades do concreto no estado fresco

Existem alguns fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto e que podem comprometê-lo. A quantidade de água é um fator importante para que a trabalhabilidade seja afetada de forma positiva ou negativa. A simples adição de água aumenta a

lubrificação entre as partículas, no entanto, para se conseguir as condições ótimas do mínimo de vazios ou maior adensamento sem segregação, deve-se considerar o tipo e a granulometria do agregado. (NEVILLE, 2013).

A trabalhabilidade do concreto é governada pelas proporções volumétricas de partículas de diferentes dimensões e para isso é importante que a relação água/cimento esteja dimensionada de forma correta.

Entende-se por vazios no concreto são bolhas de ar aprisionado ou espaços deixados após a saída da água excedente, onde esse excesso depende somente da relação água/cimento da mistura. Sabendo disto, a resistência a compressão do concreto é afetada significativamente pela presença de vazios, pois quanto maior a massa específica do concreto, maior a resistência a compressão, a exemplo pode-se dizer que quando existe num concreto 5% de vazios a resistência a compressão pode ser diminuída em cerca de 30%. (NEVILLE, 2013).

3.3.2 Propriedades do concreto no estado endurecido

Segundo Neville (2013) as propriedades do concreto endurecido são:

- Resistência a Compressão;
- Resistência a Tração (Direta e na Flexão);
- Resistência ao Desgaste;
- Absorção;
- Permeabilidade;
- Porosidade;
- Retração;
- Expansão;
- Deformação Lenta (Creep);
- Módulo de Deformação;
- Propriedades Térmicas.

Uma das propriedades do concreto endurecido é a Resistência Mecânica, que por sua vez, é a propriedade que mais interessa no concreto. Segundo Neville (2013) o concreto é um material que resiste bem aos esforços de mecânicos de compressão e mal aos de tração, sendo a resistência a tração sendo da ordem da décima parte da resistência a compressão.

Outra propriedade é a Massa Específica onde normalmente se utiliza a massa de unidade de volume incluindo vazios variando entre 2300 e 2500 kg/m³. Caso seja utilizado agregados leves é possível reduzir o valor da ordem de 1800 kg/m³.

Segundo Neville (2013) o concreto é um material poroso, pois não é possível preencher a totalidade de vazios do agregado com uma pasta de cimento. A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem de água através do material e torna-se uma das principais propriedades para os concretos, quando estão expostos ao ar, sofrem ataques de águas agressivas ou ação destrutiva dos agentes atmosféricos. Mas assume grande importância nos concretos de estruturas hidráulicas. Já a absorção é um processo físico pelo qual a água penetra nos poros e condutos capilares do concreto.

As deformações podem ser subdivididas de duas formas:

- Deformações causadas pelas variações ambientais, são elas: retração, variação de umidade e variação de temperatura.
- Deformações causadas pelas ações de cargas externas originando deformações imediatas e deformações lentas chamada também de fluência.

3.4 MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO

3.4.1 ABCP

O ABCP/ACI é uma metodologia de dosagem que foi publicada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) no ano de 1984 por meio do Estudo técnico (ET-64) com o título “Parâmetros de Dosagem de Concreto” tendo como autor o Engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues, com revisão em 1995 apresentando características experimentais.

O método ABCP/ACI é considerado um método empírico, baseado em quadros e tabelas adaptado do método americano proposto pela ACI 211.1-81. Devido sua simplicidade pode ser executado por técnicos de pouca experiência, pois seu roteiro é de simples entendimento. Este método leva em conta fatores que condicionam exigências e as características que satisfazem o concreto (BOGGIO, 2000).

Segundo Rodrigues (1990), é recomendado o uso da metodologia para concretos semi-plásticos à fluído. Este método foi desenvolvido de maneira a fornecer para misturas plásticas, o mais baixo teor de areia. Boggio (2000) aponta um dos princípios básicos do método reside no fato de que o procedimento vincula as granulometrias dos agregados miúdo e graúdo a um valor máximo do agregado total compactado por metro cúbico de concreto.

O ABCP/ACI fornece estimativas próprias para as quantidades de água de amassamento, que depende da dimensão máxima característica do agregado e da quantidade de ar incorporado, e dos valores médios de resistência para as diferentes relações de água/cimento (BOGGIO, 2000).

3.4.1.1. Passos para desenvolvimento do método ABCP/ACI

1. Determinação da resistência de dosagem, segundo a NBR 6118

A resistência a dosagem é determinada pela Equação 1 com desvio padrão S_d relacionado com a medição dos componentes do concreto e a verificação do teor de umidade, dependendo exclusivamente do rigor da produção do concreto, critérios esses que estão explicitados na Tabela 01.

$$f_{c28} = f_{CK} + 1,65.S_d \quad \text{Eq. 1}$$

Tabela 1: Valores de S_d em função do rigor da produção.

S_d	Condição	Classe	Tipo de Concreto
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: Rodrigues (1998)

2. Fixação do fator água/cimento (a/c)

Para que esse parâmetro seja fixado existem critérios que devem ser levados em consideração e estarem em conformidade com a NBR6118: 2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, que segundo Rodrigues (1998) são:

- deve-se levar em consideração a resistência mecânica requerida pelo concreto nas idades de interesse;
- a durabilidade do concreto.

O valor da relação água/cimento é estimado com base na Curva de Abrams, conforme Figura 3, que depende da resistência a compressão requerida aos 28 dias.

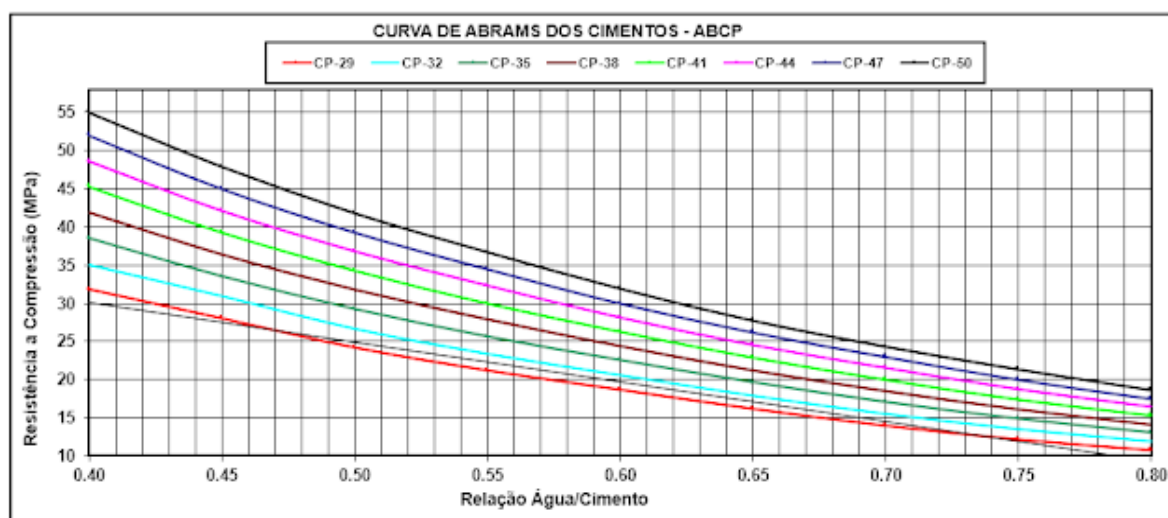


Figura 3: Curva de Abrams

Fonte: Google imagens (2018)

3. Estimando o Consumo de água do Concreto (C_{ag})

Para obtenção do consumo de água necessário deve-se analisar a granulometria, forma e textura dos grãos. Por mais que exista a necessidade da separação dos agregados quanto a forma e textura, existe uma dificuldade em expressar matematicamente o consumo de água. Portanto, deve-se utilizar a Tabela 2, onde estima-se o consumo de água por metro cúbico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado Graúdo e do abatimento da mistura. (Rodrigues 1998).

Tabela 2: Estimativa do Consumo de água por metro cúbico de concreto.

ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (ϕ máx)				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
40 a 60 mm	220 l/m³	195 l/m³	190 l/m³	185 l/m³	180 l/m³
60 a 80 mm	225 l/m³	200 l/m³	195 l/m³	190 l/m³	185 l/m³
80 a 100 mm	230 l/m³	205 l/m³	200 l/m³	200 l/m³	190 l/m³
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 300 Kg/m³ e abatimento, medido pelo tronco de cone entre 4 mm a 100 mm; 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 a Zona 1 da NBR 7211 (muito fina), podem gerar aumentos de até 10% no consumo de água por metro cúbico de concreto.					

Fonte: Rodrigues (1998)

Para uma maior precisão o consumo de água pode se estimar pela a Equação 2

$$C_{ar} = C_{ai} \cdot \left(\frac{St_r}{St_i} \right)^{0,1} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

C_{ar} = Consumo de água requerida;

C_{ai} = Consumo de água inicial;

St_r = Abatimento requerido;

St_i = Abatimento inicial.

4. Estimar o Consumo de Cimento (C)

Após realizar a estimativa do consumo de água e com a relação água/cimento adotada, obtém-se o consumo de cimento através da Equação 3:

$$C = \frac{C_{ag}}{(a/c)} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

C = Consumo de Cimento (Kg/m³);

C_{ag} = Consumo de água (l/m³);

(a/c) = Relação água/cimento (Kg/Kg);

5. Estimativa do Consumo de agregados

O método ABCP é caracterizado por obter misturas com uma determinada consistência aliada ao menor volume de vazios inter-grãos possíveis. Para tal é determinado na mistura um teor ótimo do agregado graúdo por meio do proporcionamento adequado da relação de agregado graúdo/agregado miúdo, que parte do princípio de colocar na mistura o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto. O volume de agregado graúdo por metro cúbico é determinado pela Tabela 3 em função da dimensão máxima do agregado graúdo e do módulo de finura a serem utilizados no concreto.

Tabela 3: Volume Compactado seco (V_{pc}) de agregado graúdo por metro cúbico de concreto.

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO ($\phi_{\text{máx}}$)				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665
OBSERVAÇÃO:					
1- Os valores acima foram obtidos experimentalmente na Associação Brasileira de Cimento Portland.					

Fonte: Rodrigues (1998)

Com isso estima-se o Consumo de Agregado Graúdo em massa pela Equação 4:

$$C_p = V_{pc} \cdot MU_c \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

C_p = Consumo do Agregado graúdo por metro cúbico de Concreto (Kg/m³);

V_{pc} = Volume compactado seco do agregado graúdo por m³ de concreto;

MU_c = Massa Unitária compactada do agregado graúdo por m³ de concreto (Kg/m³).

Para estimar o volume e massa do agregado miúdo (C_a), utiliza-se as Equações 5 e 6, respectivamente:

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{C_p}{\gamma_p} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} \right) \quad \text{Eq. 5}$$

$$C_a = \gamma_a \cdot V_a \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

V_a = Volume do agregado miúdo por metro cúbico de concreto (m^3);

$\gamma_c, \gamma_p, \gamma_{ag}$ = Massa específica do Cimento, agregado graúdo e da água respectivamente.

C_a = Consumo do agregado miúdo (areia) por metro cúbico de concreto (kg/m^3);

γ_a = Massa específica do agregado miúdo (areia) (kg/m^3).

6. Apresentação do Traço

A representação do traço é dado em massa e com relação ao valor unitário do cimento, conforme Equação 7:

$$1,0 : \frac{C_a}{C} : \frac{C_p}{C} : (a/c) \quad \text{Eq. 7}$$

3.4.2 IPT Modificado

O método IPT/EPUSP Modificado é um método essencialmente experimental demandando inicialmente de poucas informações quanto à característica dos agregados. Este método idealizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, se baseia na determinação de um traço inicial que foi obtido através da análise de experimentos anteriores, se fazendo necessário um ajuste experimental das propriedades de interesse, em função dos materiais disponíveis para sua confecção (HELENE, 1992).

Com esse ajuste experimental é verificado os comportamentos do concreto no estado fresco e endurecido, comparando assim os comportamentos com a real necessidade de execução da obra e com as especificações do projeto estrutural (CAMPITELI, 1994). Esse método procura obter os traços com teores mínimos de argamassa que possibilitem atender as necessidades de transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto

na obra. Esse traço de concreto utiliza o menor teor de argamassa possível para que seja ocupado os vazios entre as partículas do agregado e lubrificar sua superfície.

3.4.2.1. Passos para realização do IPT Modificado

1. Estabelecimento de um traço inicial

Para começar a trabalhar com o IPT modificado é necessário estabelecer um traço inicial. A consistência do concreto ela depende principalmente da relação água-materiais (H), pela dimensão máxima característica e pela massa específica do agregado graúdo. Existe um modelo matemático, Equação 8 que relaciona a consistência do concreto, feita pelo abatimento do tronco de cone, com os fatores destacados acima (Campiteli, 1994).

$$H = \frac{783 \cdot (148 - DMC) + (163 - DMC) \cdot S}{4410 \cdot \gamma} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

S = abatimento em mm;

H = relação água-materiais secos em %;

DMC = Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo em mm;

γ = massa específica do agregado graúdo em kg/dm³.

Com isso, o traço de concreto segundo Campiteli (1993) pode ser expresso em função das características H, α e x, conforme Equação 9:

$$1 : \left(\frac{\alpha \cdot x}{H} - 1 \right) : \left[\frac{x}{H} \cdot (100 - \alpha) \right] : x \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

α = teor de argamassa seca do concreto;

x = relação água-cimento.

Os teores de argamassa seca, α , podem ser adotados conforme Tabela 4, levando em consideração o módulo de finura do agregado miúdo. A Tabela 4 foi adaptada da tabela elaborada por Ângelo Derolle, técnico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

Tabela 4: Valores Estimados para teores de argamassa seca (α).

DMC (mm) do agregado graúdo	Módulo de Finura do agregado miúdo		
	Menor do que 2,4	Entre 2,4 e 2,8	Maior do que 2,8
9,5	55	57	59
19	50	52	54
25	46	48	50
38	43	44,5	46
50	37	39	41
76	33	34,5	36
102	30	31	32
152	27	28	29

Fonte: Campiteli (1993)

Para os valores da relação água/cimento, x , pode-se utilizar a Tabela 5 adaptada de Tango (1993).

Tabela 5: Valores estimados de relações água/cimento (x).

F _{cj} (MPa)	Estimativa da relação água/cimento – x (l/kg)			
	Cimentos do tipo CP I, II, III, IV			CP V ARI
	Classe 25	Classe 32	Classe 40	
10	0,79	0,89	0,96	0,96
15	0,64	0,74	0,81	0,81
20	0,53	0,63	0,71	0,71
25	0,45	0,55	0,62	0,62
30	0,38	0,48	0,56	0,56
35	0,32	0,42	0,50	0,50

Fonte: Tango (1993)

2. Ajustes dos valores de H e α

Após definido o traço inicial, será necessário verificar se o concreto produzido atende aos critérios exigidos de consistência, coesão e resistência de acordo com o esperado. Com Equação 10 é feito a correção do concreto inicialmente proposto e que não atendeu os critérios acima estabelecidos.

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{0,1} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

H_2 = Relação água/materiais secos a determinar (%);

H_1 = relação água/materiais secos atual (%);

S_2 = abatimento que se pretende (mm);

S_1 = abatimento atual (mm).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O concreto que é amplamente utilizado na construção civil, desde o seu surgimento, vem sendo aprimorado com novas tecnologias e melhorias no seu traço visando à economia de material e a trabalhabilidade.

Para tanto, de modo a corroborar estas perspectivas, segue os questionamentos: “Existe diferença significativa entre os traços? Quanto a resistência e a trabalhabilidade qual traço apresenta menor índice?”. Uma das problemáticas que se pode destacar dos diferentes tipos de traço para o concreto é se o consumo de material é significativo dependendo do tipo de obra que seja executado o traço. Com isto, o problema desta pesquisa é responder se o concreto apresenta as mesmas características de consumo, resistência, trabalhabilidade para os diferentes traços estudados.

4.2 MATERIAIS

Os materiais empregados para realização dos experimentos foram:

- Balança com resolução de 0,1 g, 1 Kg e resolução de 1g e balança com resolução de 100g.
- Estufa
- Peneiras, conforme tabela 04, com tampas e fundos
- Agitador de peneiras
- Bandejas
- Escova ou pincel
- 1 Kg de areia;
- 400 mL de água;
- Frasco Cilíndrico
- Funil de Plástico;
- Flanela.
- Concha ou pá;
- Recipiente paralelepípedo de material metálico, conforme tabela 06;

4.3 MÉTODOS UTILIZADOS

Para conhecer a composição granulométrica do agregado miúdo, faz-se o ensaio de peneiramento. São utilizadas 7 peneiras com malha quadrada, cujas percentagens acumuladas, em peso, são especificadas pela EB-4, conforme Tabela 6:

Tabela 6: Série normal do peneiramento da areia.

Peneiras aberturas nominais em mm (série normal ABNT)	Percentagens Acumuladas	
	Zona Ótima	Zona Utilizável
9,5	0	0
4,8	3-5	0-3
2,4	29-43	13-29
1,2	49-64	23-49
0,6	68-83	42-68
0,3	83-94	73-83
0,15	93-98	88-93

Fonte: EB-4

Se tratando das areias, em particular, podem ser classificadas quanto ao seu módulo de finura da seguinte forma: areia grossa, média e fina conforme apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Módulo de Finura das Areias

	Módulo de Finura
Areia grossa	MF > 3,9
Areia Média	2,4 < MF < 3,9
Areia Fina	MF < 2,4

Fonte: Especificação Brasileira EB-4

O agregado graúdo é originado de pedregulho natural com diâmetro superior a 4,8 mm. Ou pode ser definido como o material que fica retido na peneira 4,75 mm e passam na peneira com abertura nominal de 75 mm. O exemplo mais comum de agregado graúdo são as britas graníticas e estas são comercializadas ao tamanho usual de seus grãos e os diâmetros máximos de cada categoria, conforme apresentado na Tabela 8:

Tabela 88: Diâmetro característico do Agregado Graúdo.

Categoria	Dimensões (mm)	Máximo diâmetro característico (mm)
Brita 0	4,8 – 9,5	9,5
Brita 1	9,5 – 19	19
Brita 2	19 – 25	25
Brita 3	25 – 50	50
Brita 4	50 – 76	76
Brita 5	76 – 100	100

Fonte: Especificação Brasileira EB-4

4.3.1. Ensaio de Granulometria para Agregado Graúdo e Miúdo

A NBR 248: 2003 – Determinação da Composição granulométrica, prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para o concreto.

- A massa mínima para o ensaio é proporcional a dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9: Série de Peneiras.

	Série Normal	Série Intermediária
Agregado Graúdo	75 mm	-
	-	63 mm
	-	50 mm
	37,5 mm	-
	-	31,5 mm
	-	25 mm
	19 mm	-
	-	12,5 mm
	9,5 mm	-
Agregado Miúdo	-	6,3 mm
	4,75 mm	-
	2,36 mm	-
	1,18 mm	-
	600 µm	-
	300 µm	-
	150 µm	-

Fonte: NM 248:2001

Tabela 10: Dimensão Máxima do Agregado

Dimensão Máxima Nominal do Agregado (mm)	Massa Mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,75	0,3 (após secagem)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
125,0	300

Fonte: NM 248:2001

O ensaio deve ser realizado para duas amostras, uma de agregado graúdo e uma de agregado miúdo.

- 1) Deve-se formar as amostras para o ensaio seguindo a tabela 05 para agregado graúdo e para o agregado miúdo deve-se utilizar 0,5 Kg;
- 2) A série de peneiras deve estar montada de acordo com a ordem crescente da abertura das malhas;
- 3) Para a amostra de agregado graúdo colocar as porções da mesma sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras;
- 4) Executar o peneiramento com agitador mecânico;
- 5) Pesar o material que ficou retido em cada peneira;
- 6) Repetir o ensaio para o agregado miúdo.

Para cada amostra deve-se calcular:

- 1) A percentagem retida em cada peneira com aproximação de 0,1%;
- 2) A percentagem média retida e acumulada com aproximação de 0,1%;
- 3) O módulo de finura, com aproximação de 0,01

Deve-se levar em consideração as seguintes observações:

- a) O somatório de todas as massas retidas nas peneiras e no fundo não pode diferir mais de 0,3% da massa inicial da amostra;
- b) As amostras de agregado graúdo e miúdo devem apresentar necessariamente a mesma dimensão máxima característica;
- c) Nas das amostras, valores de percentagem retida individualmente não devem diferir de mais de 4% entre peneiras da mesma abertura de malha;

4.3.2. Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo – NBR NM 45:2006

A NBR NM 45: 2006 – Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios relata que para a correta realização do experimento, o agregado miúdo deve passar na peneira 4,75 mm. Com isso deve-se seguir os seguintes procedimentos:

- 1) Deve-se colocar a água no frasco até a marca de 200 cm³;
- 2) Introduzir 500 g de agregado seco, com ajuda do funil;

- 3) Agitar até eliminar as bolhas de ar, com a ajuda de uma flanela;
- 4) Efetuar a leitura do nível atingido pela água.

Com estes procedimentos anteriores realizados, através da equação abaixo obtêm-se a massa específica do agregado miúdo:

$$\rho = \frac{M_s}{L - L_0} = \frac{500}{L - 200} \quad \text{Eq. 11}$$

Deve-se fazer outras determinações consecutivas e não devem divergir entre si mais de 0,5 Kg/dm³ e o resultado deve estar expresso com três algarismos significativos.

4.3.3. Determinação da Massa Unitária dos agregados (NBR NM 45:2001)

Para a realização deste ensaio a amostra deve ser colocada segundo o procedimento da norma NBR NM 45: 2001. A amostra do material deve ser no mínimo o dobro do volume do recipiente utilizado.

Tabela 11: Volume mínimo do recipiente baseado na dimensão do agregado.

Dimensão máxima do agregado (mm)	Capacidade Mínima (dm³)	Diâmetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)
$D_{máx} \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 \leq D_{máx} \leq 50$	15	260	282
$50 < D_{máx} \leq 75$	30	360	294

Fonte: NBR NM 45:2006

Com todos os materiais dispostos, deve-se executar o experimento da seguinte forma:

- 1) O material deve ser previamente seco ao ar;
- 2) O agregado deve ser lançado dentro do recipiente a uma altura de 10 a 12cm, preenchendo-o totalmente;
- 3) Deve-se rasar o agregado miúdo em sentido horizontal com haste metálica, evitando comprimir o agregado. Já o agregado graúdo, com os dedos, deve-se compensar os vazios que houver abaixo do nível do topo do recipiente com grãos deixados acima desse nível e determinar sua massa.

Ao realizar todos os procedimentos a massa unitária é obtida como se segue:

$$\textit{Massa Unitária} = \frac{\textit{Massa do agregado}}{\textit{Volume do Recipiente, g/cm}^3} \quad \text{Eq. 12}$$

Deve-se realizar novas determinações de massa unitária e não devem diferir em mais de 0,02 g/cm³ do mesmo agregado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado os principais resultados obtidos com os ensaios de caracterização dos materiais, o ensaio de resistência mecânica dos dois traços de concreto e pôr fim a análise desses resultados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

a) Granulometria, massa específica, massa unitária da areia

O ensaio de granulometria foi realizado com duas amostras de 500 g. Na Tabela 12 é apresentada a distribuição em gramas e o percentual retido acumulado em cada malha da série de peneiras e na Figura 4 é apresentado a curva granulométrica da areia.

Tabela 12: Análise Granulométrica do Agregado Miúdo.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO											
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 500,0				(Vr)	(Mrm)	(Mra)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	b) massa inicial seca (gr) = 500,0				Massa retida	Massa retida	Massa retida	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)		Variações ± 4 %	média (%)	acumulada (%)	Zona		Zona	
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b				Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0	0	0	7
4,75	16,8	9,4	3,4%	1,9%	1,5%	2,6%	2,6%	0	0	5	10
2,36	16,3	16,3	3,3%	3,3%	0,0%	3,3%	5,9%	0	10	20	25
1,18	35,8	37,2	7,2%	7,5%	0,3%	7,3%	13,2%	5	20	30	50
0,6	81,6	80,2	16,3%	16,1%	0,2%	16,2%	29,4%	15	35	55	70
0,3	184,9	190,1	36,9%	38,1%	1,2%	37,5%	66,9%	50	65	85	95
0,15	154,0	154,1	30,8%	30,9%	0,1%	30,8%	97,7%	85	90	95	100
Fundo	11,2	11,6	2,2%	2,3%	0,1%	2,3%	100,0%	100	100	100	100
Mt) Total Σ	500,6	498,9	Módulo de Finura = 2,16				Diâmetro máximo = 2,36				

Fonte: Autoria (2018)

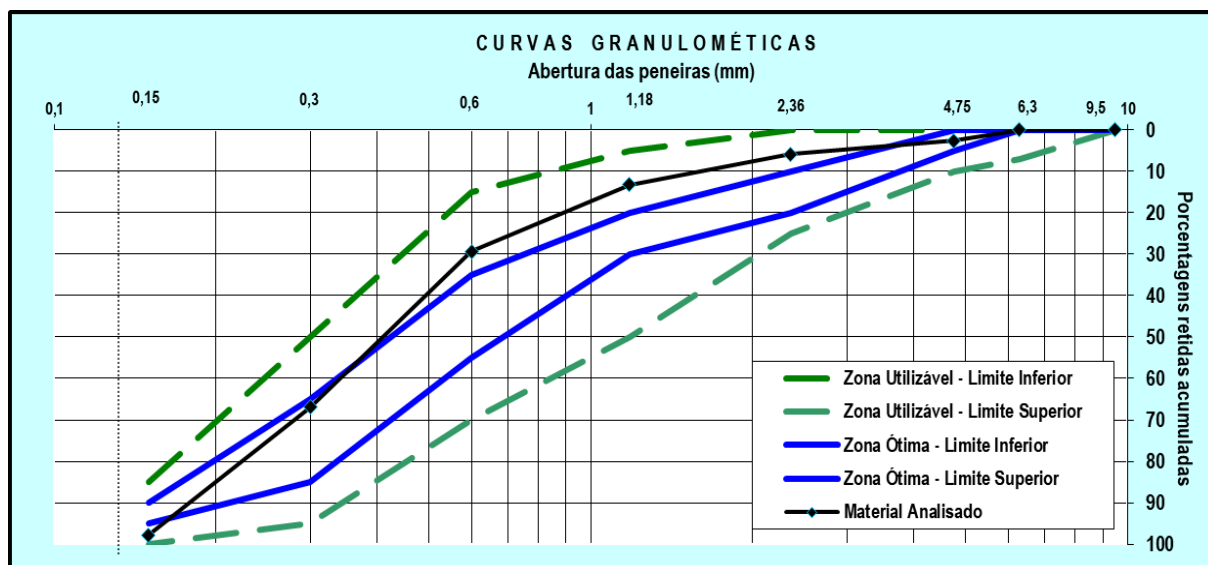


Figura 4: Curvas Granulométricas

Fonte: Autoria (2018)

Segundo a NBR 7211 – Agregados para Concreto – Especificação, o Módulo de Finura do agregado miúdo encontrado foi de 2,16, com isso a areia é considerada fina e encontra-se na Faixa da Zona Utilizável Inferior. A Massa Específica da areia foi de 2,604 kg/dm³, com isso conclui-se que a areia é natural e densidade média.

b) Granulometria, massa específica, massa unitária e dimensão máxima da brita

O ensaio de granulometria foi realizado com duas amostras de 5000 g. Na Tabela 13 é apresentada a distribuição em gramas e o percentual retido acumulado em cada malha da série de peneiras e na Figura 5 é apresentado a curva granulométrica da brita granítica.

Tabela 133: Análise Granulométrica do agregado graúdo.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO												
a) Massa inicial seca (kg) = 5,000				b) Massa inicial seca (kg) = 5,000								
Abertura das Peneiras (mm)	Mr(g) Massa retida (gramas)		Mr(%) Massa retida (Porcentagem)		(Vr)	(Mrm)	(Mra)	Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	Massa retida variação + 4 %	Massa retida média (%)	Massa retida acumulada (%)	Brita 4,75 / 12,5 N° 0	Brita 9,5 / 25 N° 1	Brita 19 / 31,5 N° 2	Brita 25 / 50 N° 3	Brita 37,5 / 75 N° 4
75	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%					0 - 5
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%					5 - 30
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%				0 - 5	75 - 100
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%				5 - 30	90 - 100
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%			0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		0 - 5	5 - 25	87 - 100	
19	300,0	300,0	5,9%	6,4%	0,4%	6,2%	6,2%		2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	3.000,0	3.000,0	59,5%	63,6%	4,1%	61,5%	67,7%	0 - 5	40 - 65	92 - 100		
9,5	750,0	600,0	14,9%	12,7%	2,2%	13,8%	81,5%	2 - 15	80 - 100	92 - 100		
6,3	550,0	600,0	10,9%	12,7%	1,8%	11,8%	93,3%	40 - 65	92 - 100	95 - 100		
4,75	144,5	137,4	2,9%	2,9%	0,0%	2,9%	96,2%	80 - 100	95 - 100			
2,36	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	96,2%	95 - 100				
1,18	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	96,2%					
0,6	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	96,2%					
0,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	96,2%					
0,15	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	96,2%					
Fundo	300,0	82,3	5,9%	1,7%	4,2%	3,8%	100,0%	Diâmetro Máximo = abertura da peneira % retida acumulada ≤ 5				
Mt) Total	5.044,5	4.719,7	D. máx. = 19,0mm		Módulo de Finura = 6,65		Mód. Finura = (S % retida acumulada nas peneiras normais) / 100					

Fonte: Autoria Própria

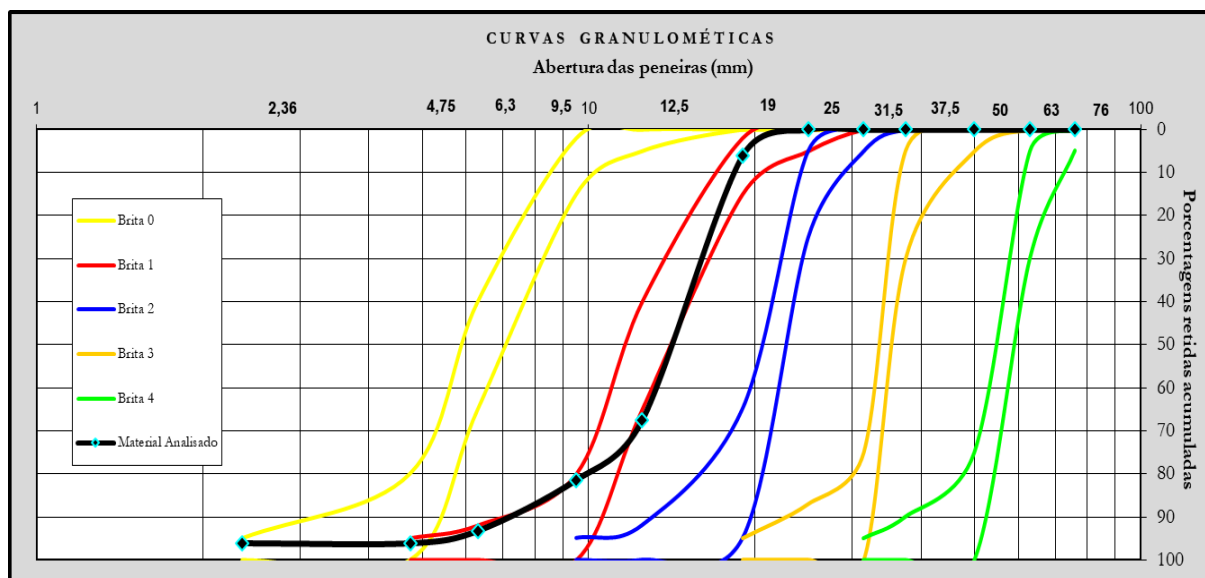


Figura 5: Curvas Granulométricas Agregado Graúdo

Fonte: Google imagens (2018)

Segundo a NBR 7211 o módulo de finura do agregado graúdo encontrado foi de 6,65.

5.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DOSAGEM

Nesta pesquisa serão dosados dois traços de concretos de cimento Portland utilizando o método do ABCP e o método do IPT Modificado. Para os dois traços deseja-se ter resistência a compressão aos 28 dias de 25 MPa, abatimento do tronco de cone na faixa de 80 a 100 mm e dimensão máxima do agregado graúdo de 25 mm.

5.2.1 Método do ABCP

A dosagem pelo método do ABCP depende das características físicas dos materiais, tais como: massa específica e massa unitária dos agregados e do aglomerante, dimensão máxima do agregado graúdo e módulo de finura do agregado miúdo. A Tabela 14 os traços encontrados pelo método do ABCP.

Tabela 14: Dosagem pelo Método ABCP

DOSAGEM PELO ABCP				
TRAÇO	CIMENTO	AREIA	BRITA	A/C
1	1	2,31	2,99	0,58
2	1	2,27	2,99	0,6
3	1	2,13	2,99	0,65
FINAL	1	1,95	2,99	0,55

Fonte: Autoria Própria (2018)

O Traço 1 corresponde ao traço inicial, quando produzido constatou-se um concreto muito seco. Nos Traços 2 e 3 alterou-se a relação de água-cimento, e consequentemente o consumo de areia, para deixar o concreto com maior trabalhabilidade. Sabe-se que um concreto com elevada relação de água-cimento prejudica a resistência, por esse motivo, o Traço Final foi produzido com um fator água-cimento abaixo do traço inicial, menor consumo de areia, aditivo superplastificante em 1% para adquirir a trabalhabilidade desejada.

5.2.2 Método do IPT Modificado

O método do IPT Modificado leva-se em consideração a consistência, coesão e a trabalhabilidade requerida, e estes dependem das características físicas dos materiais. A Tabela 15 apresenta as tentativas de dosagem do concreto com as características desejadas.

Tabela 15: Dosagem pelo Método IPT/Modificado

DOSAGEM PELO IPT/MODIFICADO				
TRAÇO	CIMENTO	AREIA	BRITA	A/C
1	1	2,09	3,1	0,55
2	1	2,07	3,07	0,55
FINAL	1	2,21	3,48	0,6

Fonte: Autoria Própria

O Traço 1 foi dosado para ter uma consistência (H) de 8,86%, coesão (α) de 50% e trabalhabilidade em termos do abatimento do tronco de cone em 80 mm. O Traço 2 foi produzido para se ter uma trabalhabilidade de 90mm. Nos dois casos o concreto estava muito seco e com características de “farofo”. Por fim, dosou-se um concreto desejando-se um trabalhabilidade 90 mm, consistência de 8,97% e coesão de 48% e para adotou-se uma relação de água-cimento de 0,6.

5.3. PROPRIEDADES DOS CONCRETOS

A Tabela 16 apresenta os resultados da resistência, trabalhabilidade, consistência e coesão dos concretos de acordo com o método de dosagem.

Tabela 206: Resistência a Compressão 28 dias.

MÉTODO DE DOSAGEM	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (MPa)	SLUMP TESTE (mm)	CONSISTÊNCIA (%)	COESÃO (%)
ABCP	22,48	80	9,26%	41,5%
IPT/EPUSP	23,73	85	8,97%	40,8%

Fonte: Autoria Própria

De acordo com Petrucci (2005) os principais fatores que afetam a resistência a compressão são: a relação água/cimento (a/c), o tempo de cura antes do rompimento, forma e granulometria dos grãos e o tipo de cimento utilizado. A Tabela 15 mostra os valores da resistência a compressão na idade de 28 dias. Com isso pode-se observar que a resistência a compressão do método IPT/EPUSP é 5,3% maior que a resistência do ABCP.

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. Esse termo está muito relacionado com características do próprio concreto e se relaciona com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. O método utilizado para determinar a consistência foi o slump test, onde o resultado do teste foi um slump de 80 mm para o concreto dosado pelo ABCP e 85 para o concreto dosado com IPT/EPUSP isso mostra que o concreto dosado pelo método IPT/EPUSP ele é menos consistente e menos coeso que o ABCP. Para a consistência a diferença entre os dois métodos foi de apenas 3,13% e para a coesão a diferença entre os métodos foi de 1,7%.

Segundo a NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento mostra que os dois métodos de dosagens estão adequados para utilização em estruturas pois ultrapassou os 20 MPa.

5.4. ANÁLISE DO CUSTO DE PRODUÇÃO DO CONCRETO

As Tabelas 17 e 18 apresentam a composição do custo para se produzir um metro cúbico de concreto pelo método do ABCP e pelo método do IPT Modificado.

Tabela 17: Composição de Custos - Método ABCP

COMPOSIÇÃO DO CUSTO PARA 1 M³ DE CONCRETO - MÉTODO DO ABCP						
MATERIAL	UNIDA DE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT	CUSTO TOTAL		
CIMENTO CP IV - 32	50 KG	R\$ 21,20	376,0	R\$ 159,42		
PREDRA BRITADA N1 (9.5-19mm) SEM FRETE	M³	R\$ 75,00	0,4	R\$ 29,28		
AREIA MÉDIA SEM TRANSPORTE	M³	R\$ 60,00	0,3	R\$ 16,89		
TOTAL				R\$ 205,59		

Fonte: Autoria Própria

Tabela 18: Composição de Custos - Método IPT/Modificado.

COMPOSIÇÃO DO CUSTO PARA 1 M³ DE CONCRETO - MÉTODO DO IPT						
MATERIAL	UNIDA DE	CUSTO UNITÁRIO	QUANT	CUSTO TOAL		
CIMENTO CP IV - 32	50 KG	R\$ 21,20	335,614585	R\$ 142,30		
PEDRA BRITADA N1 (9.5-19mm) SEM FRETE	M³	R\$ 75,00	0,40553429	R\$ 30,42		
AREIA MÉDIA SEM TRANSPORTE	M³	R\$ 60,00	0,28483419	R\$ 17,09		
TOTAL				R\$ 189,81		

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 17 traz a composição de custos para o método ABCP onde verifica-se que para 1m³ de concreto o custo total é de R\$ 205,59 e para o método IPT/Modificado, Tabela 18, mostra que o custo para a mesma quantidade de concreto é de R\$ 189,81. Ou seja, o método IPT é mais econômico que o método ABCP em 7,67%.

Com base na Figura 8 e na Figura 9 observa-se que em termos de material a brita é responsável por aproximadamente metade do volume do concreto, mas com relação ao custo em ambos os métodos o cimento é o responsável pela maior parte. Portanto, a economia se dá quando se reduz o material que mais contribui para o custo total do concreto, que nos dois métodos foi o cimento. Do ABCP para o IPT/Modificado a redução de cimento foi de aproximadamente 10,74%. Para uma quantidade maior de concreto essa redução será muito significativa para a economia da obra.

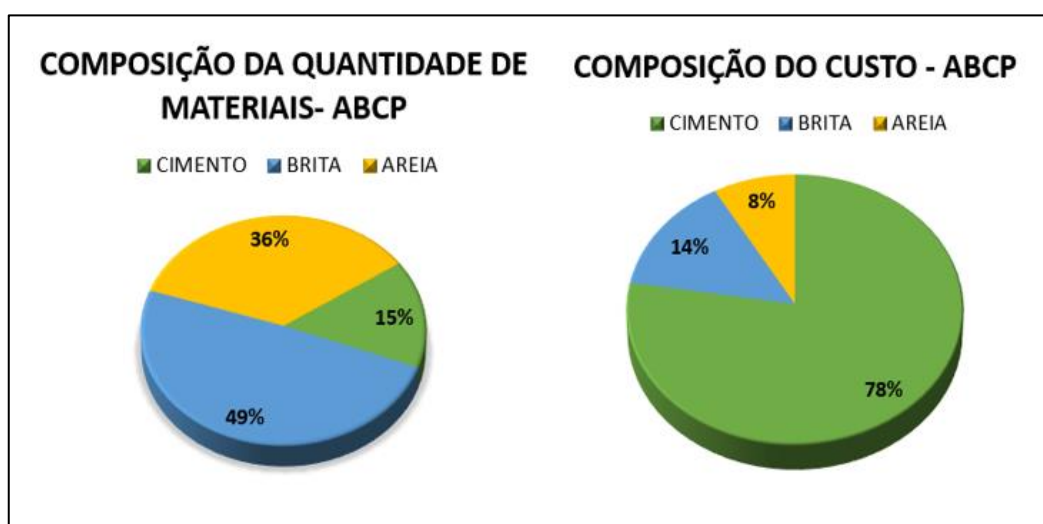


Figura 6: Composição de Materiais e Composição de Custos - ABCP

Fonte: Autoria Própria

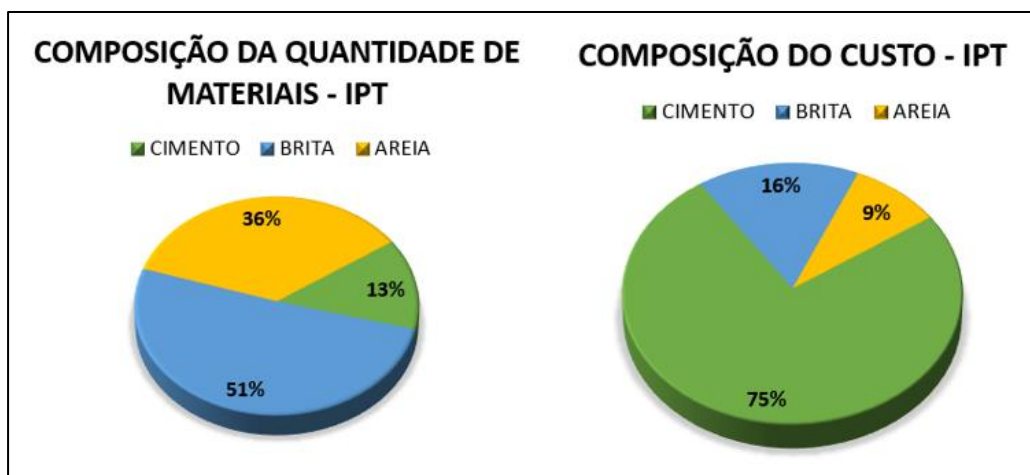


Figura 7: Composição de Materiais e Composição de Custos - IPT/Modificado

Fonte: Autoria Própria

6. CONSIDERAÇÕES

O estudo produziu parâmetros comparativos para as propostas de dosagens de concreto, demonstrando que dos dois métodos apresentados, ambos obtiveram êxito no quesito resistência a compressão aos 28 dias pois se aproximaram ou superaram as resistências esperadas.

Porém, a análise não deve ser feita somente levando em consideração a resistência a compressão. Outro fator importante levado em consideração foi o custo de 1m³ de concreto. Com isso, pôde-se perceber que o método IPT/Modificado ele é 7,67% mais barato que o método ABCP. E que o item de maior valor para fabricação do concreto, o cimento, tem uma economia de 10,74% de um traço para outro.

Com esses resultados pode-se dizer que, antes de iniciar qualquer obra, é importante a verificação dos traços e analisar qual método de dosagem se adequa mais ao tipo de construção e é mais econômico no cenário estudado.

7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. C. L.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, Editora Universidade Rural, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP (2002). **GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**. Boletim Técnico. 7ª ed. São Paulo, 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733: Cimento Portland com Alta Resistência Inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

----- **NBR 5735: Cimento Portland de Alto-Forno**. Rio de Janeiro, 1991.

----- **NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico**. Rio de Janeiro, 1991.

----- **NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos**. Rio de Janeiro, 1994b.

----- **NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto**. Rio de Janeiro, 1994a.

----- **NBR 7215: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

----- **NBR 7217: Agregados – determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987a.

----- **NBR 7251: Agregado em estado solto – determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1982c.

----- **NBR 7810: Agregado em estado compactado seco – determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro, 1983b.

----- **NBR 9776: Agregados – determinação da massa específica de agregado miúdo por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987d.

----- **NBR 11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991a.

----- **NBR 11172: Aglomerantes de Origem Mineral**. Rio de Janeiro, 1990

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. 5ª Edição. Rio de Janeiro, 2001.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados** – 1. ed. – São Paulo: PINI, 2008.

HELENE, P. T, P, **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**, Ed. Pini, 1992

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**; tradução: Ruy Alberto Cremmonini. – 2. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

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

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do concreto**. ET-67. São Paulo: ABCP, 1990.

WATANABE, PAULA SUMIE (2008). **Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações**. Iniciação Científica – FAPESP. Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Bauru – SP, 192 p.