



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ADITIVO PLASTIFICANTE
MULTIFUNCIONAL REDUTOR DE ÁGUA
NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO
DOSADO PELO MÉTODO ABCP**

Leonardo Gasparin

Lajeado, Junho de 2017

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ADITIVO PLASTIFICANTE
MULTIFUNCIONAL REDUTOR DE ÁGUA
NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO
DOSADO PELO MÉTODO ABCP**

Trabalho apresentado na disciplina de TCC –
Etapa II ao Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas do Centro Universitário Univates
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

ORIENTADOR: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, Junho de 2017

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ADITIVO PLASTIFICANTE
MULTIFUNCIONAL REDUTOR DE ÁGUA
NA RESITÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO
DOSADO PELO MÉTODO ABCP**

A Banca examinadora abaixo aprova o trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, do centro universitário Univates, como parte da exigência para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Me. Rafael Mascolo, Orientador

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Ivandro Carlos Rosa

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira

Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, Junho de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Leocir e Evania, pelo exemplo de persistência, fé, generosidade e por todo o apoio que tem me dado, não só nessa, mas em todas as etapas de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois foram muitas as vezes que busquei forças na fé.

Agradeço ao meu orientador professor Me. Rafael Mascolo, por ser tão prestativo, por se mostrar realmente apaixonado pelo seu trabalho e por preocupar-se com o fundamento e com o resultado deste estudo.

A minha família, em especial a meu irmão Lucas e a minha cunhada Aline, pelos valiosos dias que passaram comigo nos laboratórios auxiliando o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus avós Flavio e Catarina, por serem pessoas maravilhosas que sempre estiveram presentes quando mais precisei.

A minha companheira Alexia por estar ao meu lado me transmitindo sabedoria e me apoiando para a conclusão deste estudo. E sem dúvida por me dar o maior presente de todos, uma filha.

A minha filha Giovanna que mesmo antes de vir ao mundo já é combustível para minha felicidade, e me dá forças para prosseguir com meus objetivos.

E por final aos laboratoristas do LATEC, em especial ao Rodrigo, por serem sempre prestativos auxiliando na execução dos testes deste estudo.

RESUMO

Buscando entender a influência do uso de aditivo plastificante redutor de água à base de ácido lignosulfônico na resistência mecânica do concreto quando dosado pelo método ABCP, este estudo avalia a mistura de aditivo nos teores de 0,5; 0,75 e 1% sobre a massa de aglomerante. Definiu-se três traços iniciais como referência, denominados rico, intermediário e pobre nos quais a relação água/cimento foi definida com o auxílio do ensaio de consistência “slump test”, o qual teve seu valor fixado em 100 ± 10 mm a fim obter maior precisão, com isso foi possível verificar que com o aumento da quantidade de aditivo a relação a/c diminui e por consequência ocorre um ganho de resistência mecânica do concreto no estado endurecido.

Palavras-Chave: Dosagem ABCP, Aditivo Plastificante, Concreto.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Determinação aproximada do consumo de água (Ca) em l/m ³	43
Tabela 02 – Consumo de agregado graúdo.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Material Separado antes da Mistura.....	47
Figura 02 – Exemplo de Diagrama de Dosagem Convencional.....	50
Figura 03 – Aparência Natural do concreto: (a) Concreto Alisado: (b).....	55
Figura 04 – Concreto Dentro do Cone: (a) Medida do Abatimento: (b).....	56
Figura 05 – Diagrama de Dosagem do Traço Referência.....	61
Figura 06 – Diagrama de Dosagem do Traço com 0,50% de Aditivo.....	62
Figura 07 – Diagrama de Dosagem do Traço com 0,75% de Aditivo.....	63
Figura 08 – Diagrama de Dosagem do Traço com 1,00% de Aditivo.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Granulometria do Agregado Graúdo.....	40
Quadro 02 – Resultado da Caracterização da Areia.....	41
Quadro 03 – Consumo de Cimento para cada Traço.....	43
Quadro 04 – Consumo de Areia para Cada Traço.....	45
Quadro 05 - Definição dos Traços Referência.....	46
Quadro 06 – Consumo de Material para cada Traço.....	47
Quadro 07 – Consumo de Água em Cada Traço.....	53
Quadro 08 – Ganho de Resistência em Relação ao Traço Referência.....	59
Quadro 09 – Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem do Traço Referência.....	61
Quadro 10 – Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem com 0,50 % de Aditivo....	62
Quadro 11 – Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem com 0,75 % de Aditivo....	63
Quadro 12– Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem com 1,00 % de Aditivo.....	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Curva Granulométrica do Agregado Graúdo.....	40
Gráfico 02 – Curva Granulométrica da Areia.....	42
Gráfico 03 – Relações a/c Corrigidas em Cada Traço.....	52
Gráfico 04 - Consumo de Água em Cada Traço.....	54
Gráfico 05 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço Referência.....	57
Gráfico 06 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço 0,50 % de Aditivo.....	57
Gráfico 07 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço 0,75 % de Aditivo.....	58
Gráfico 08 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço 1,00 % de Aditivo.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de Prova
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
a/c	Relação água/cimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos do Trabalho	14
1.1.1 Objetivo principal	14
1.1.2 Objetivos secundários	14
1.2 Hipótese	15
1.3 Delimitação	15
1.4 Organização do Trabalho	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Concreto	17
2.1.1 Cimento Portland	18
2.1.2 Agregados	21
2.1.3 Água para Amassamento	24
2.1.4 Aditivos	25
2.2 Propriedades do Concreto Fresco	27
2.2.1 Trabalhabilidade	27
2.2.2 Coesão e Segregação	29
2.3 Propriedade do Concreto Endurecido	30
2.3.1 Resistência Mecânica	31
2.3.2 Durabilidade	32
2.4 Dosagem do Concreto	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 Materiais Utilizados	38
3.2 Métodos	42
3.2.1 Massa Específica do Cimento	39
3.2.2 Caracterização do Agregado Graúdo	39
3.2.3 Caracterização do Agregado Miúdo	41
3.2.4 Obtenção do Traço Unitário, Método ABCP	42
3.2.4.1 Definição do Consumo de água	42
3.2.4.2 Definição do Consumo de Cimento	43
3.2.4.3 Definição do Consumo de Agregado Graúdo e Miúdo	44

3.2.4.4	Definição dos Traços Referência	46
3.2.5	Diagrama de Dosagem	48
3.2.5.1	Lei de Abrams	48
3.2.5.2	Lei de Lyse	49
3.2.5.3	Lei de Molinari	49
3.2.5.4	Construção do Diagrama de Dosagem	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1	Análise do Concreto no Estado Fresco	52
4.2	Análise do Concreto no Estado Endurecido	56
5	CONCLUSÃO	65
5.1	Propriedades do Concreto no Estado fresco	65
5.2	Propriedades do Concreto no Estado Endurecido	66
5.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	66
6	REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO

A crescente evolução das tecnologias empregadas na construção civil é representada pelo grande número de pesquisas dedicadas a melhorar o desempenho dos materiais utilizados. O concreto por ser de grande importância nesse meio, pela simplicidade de sua composição (cimento, areia, brita e água), baixo custo e fácil obtenção de seus componentes, permite incorporar em sua massa, com finalidade experimental, diversos materiais.

As principais características do concreto são trabalhabilidade quando fresco, resistência mecânica e durabilidade, quando endurecido. A obtenção de uma massa de concreto que atenda tais características só é possível com um adequado dimensionamento dos componentes e com o conhecimento das influências que a característica de cada um tem sobre a mistura, é nesse princípio que se enquadra a dosagem do concreto (NEVILLE E BROOKS, 2013).

As dosagens são feitas a fim de atender critérios estabelecidos em projetos, criar estruturas mais resistentes a ações temporais e climáticas, suportar maiores carregamentos, facilitar sua aplicação e transporte entre outras características que são possíveis de serem alcançadas com o uso de aditivos e adições. Portanto, para que o traço obtido no estudo da dosagem seja satisfatório são necessários investimentos em pesquisa e conteúdo humano com interesse e conhecimentos específicos no campo do concreto (HELENE e TUTIKIAN, 2012).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) baseada no método empírico do *American Concrete Institute* (ACI), criou uma adaptação para as condições nacionais que possibilita ajustes de misturas experimentais a partir de um traço base, essa adaptação passa ser conhecida como método ABCP/ACI. Baseando-se em quadros, tabelas e características dos materiais é possível verificar relações a fim de dosar corretamente os componentes da mistura. A quantidade de água para atingir determinada consistência por exemplo, é fornecida por uma tabela que relaciona a dimensão máxima característica do agregado com um intervalo desejável de valor de abatimento. O método não considera o uso de aditivo plastificante ou super plastificante, justificando a necessidade de realizar estudos com o uso destes a fim de obter referências de sua influência na mistura.

1.1 Objetivos do Trabalho

Os objetivos deste trabalho são:

1.1.1 Objetivo principal

Avaliar a influência de diferentes teores de aditivo plastificante multifuncional redutor de água à base de ácido lignosulfônico na resistência mecânica do concreto de cimento Portland nas idades de 7, 14, 28 e 63 dias, partindo dos princípios de dosagem do método ABCP/ACI.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar os materiais componentes do concreto.
- b) Determinar o traço de referência a partir do método de dosagem ABCP/ACI.
- c) Testar diferentes teores de aditivos em traços referência de concreto.

1.2 Hipótese

O uso de aditivo plastificante à base de ácido lignosulfônico permite uma redução do consumo de água de 5% à 15% e como consequência um aumento no ganho de resistência sem que a consistência da mistura seja prejudicada. Para tal foram utilizados três traços referência e partir destes foram acrescentado teores de aditivo de 0,0; 0,5; 0,75 e 1% da massa de aglomerante.

1.3 Delimitação

A pesquisa fica restrita ao uso de um único tipo de aditivo plastificante redutor de água, um único tipo de cimento Portland e agregados da região.

1.4 Organização do Trabalho

A estrutura do trabalho é dividida em 05 capítulos, sendo:

Capítulo 01 – Contém a apresentação do trabalho, sendo parte integrante a introdução, objetivos, hipóteses e delimitação, contendo um breve resumo do conteúdo trabalhado.

Capítulo 02 – Neste capítulo encontra-se o referencial teórico da monografia contendo abordagens sobre as características e especificações dos materiais constituintes do concreto de cimento Portland. Também aborda as características do concreto no estado fresco e endurecido e métodos de dosagem.

Capítulo 03 – Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a elaboração dos experimentos, bem como a caracterização dos materiais utilizados.

Capítulo 04 – Aborda os resultados obtidos com os experimentos realizados e uma discussão sobre a análise dos mesmos.

Capítulo 05 – Trata de concluir o que foi descrito no escopo do trabalho e apresenta sugestões para trabalhos que poderão ser realizados para complementar este estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto

O concreto é o material de construção mais consumido no mundo. Uma estimativa é que no Brasil até 2017 será consumido 72,3 milhões de m³ ao ano de concreto dosado em central, segundo dados obtidos em pesquisa encomendada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2012).

Para Metha e Monteiro (2014), o fato do concreto ser um dos produtos mais consumidos no mundo está ligado a seu custo relativamente baixo e a rapidez com que é fabricado. Além de possuir uma característica plástica em seu estado fresco que permite criar formatos dinâmicos e com isso facilitar o processo de construção, apresenta um baixo custo de manutenção, não necessita de acabamento na superfície e aumenta sua resistência com o avanço de sua idade.

O baixo custo do concreto é proveniente da facilidade de encontrar os materiais necessários para sua fabricação e tais materiais possuem um valor de mercado baixo se comparado a outros materiais de construção como o aço, por exemplo. De maneira simples o concreto é formado por cimento, areia, brita e água, e eventualmente aditivos e adições, porém para que se obtenha a qualidade esperada do produto não se pode fazer a dosagem desses materiais sem conhecimento prévio da função desempenhada por cada um dos componentes na mistura. Estabelecer as características desejadas, as condições de aplicação e exposição antes de iniciar a fabricação do concreto é de extrema importância para determinar o traço ideal e a necessidade ou não de aditivos (PETRUCCI, 1998).

Helene e Terzian (1993), consideram importante um estudo das características individuais dos materiais constituintes do concreto para obter uma mistura de propriedades satisfatórias, que atendam às necessidades para as quais o concreto foi projetado. A interação entre os componentes da mistura afeta diretamente as propriedades do concreto, por exemplo a influência da relação água/cimento (a/c) na resistência, o volume de água presente na massa de concreto afeta a consistência do concreto fresco, e outras relações não menos importantes e que devem ser conhecidas a fim de obter uma dosagem que atenda os critérios de projetos.

Assim sendo fica clara a necessidade de estudar separadamente cada material constituinte do concreto para a obtenção do melhor traço através da dosagem correta de seus componentes sendo eles: cimento Portland, agregados, água para amassamento, aditivos e adições. Por fim deve-se fazer um estudo sobre métodos de dosagem.

2.1.1 Cimento Portland

Conforme descrito no manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2012), o Cimento Portland é composto por uma mistura de rocha calcária moída e misturada em corretas proporções com argila aquecida em alta temperatura e resfriada bruscamente para ser transformada em pó por moagem, o resultado dessa mistura se chama *clínquer*. Ainda são adicionados ao *clínquer* escoria de alto forno, gesso e materiais pozolânicos, com a intenção de atribuir características diferentes ao cimento Portland.

Neville e Brooks (2013), definem que o cimento Portland é derivado da combinação de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. A mistura é feita em um forno rotativo onde a temperatura pode chegar a 1500°C em constante movimento. No final do processo os materiais são fundidos em forma de esfera com dimensões entre 3 e 25 mm de diâmetro (*clínquer*), as esferas são trituradas e misturadas com sulfato de cálcio a fim de evitar a pega imediata do cimento. Os principais componentes do

cimento Portland são Silicato tricalcico (C_3S), Silicato Dicalcico (C_2S), Aluminato tricalcico (C_3A) e Ferroaluminato tetracalcico (C_4AF).

Para cada adição na fabricação do cimento, o mesmo adquire uma característica que será levada em conta na sua utilização no mercado. Por isso existem classificações pré-determinadas a fim de facilitar a escolha e caracterizar a função de cada um dos tipos de cimento Portland produzidos, conforme segue:

- a) Cimento Portland comum (CP I); tem suas propriedades regidas pela NBR 5732 (ABNT, 1991), e como o próprio nome já exhibe é o cimento mais simples dentre os demais, não possui características que atendam às necessidades especiais, não devem ser usados em condições ambientais agressivas, possui aproximadamente 3% de gesso em sua composição com a finalidade de retardar o processo de pega. É classificado em, CP I (sem adições) e CP I-S (com adições), e suas classes de resistência são de 25, 32 e 40 Mpa.
- b) Cimento Portland composto (CP II); é um tipo de cimento modificado para atender situações que necessitam de um moderado calor de hidratação e em ambientes onde pode ocorrer ataque de sulfatos. Suas nomenclaturas definem os tipos de adições usadas CP II-E (6 a 34% de escoria de alto forno originada de resíduos de fabricação de *ferro-gusa*) possui baixo calor de hidratação, CP II-Z (6 a 14% de material pozolânico) utilizado em obras marítimas e CP II-F (6 a 10% de *Fíler*) utilizado em ambientes agressivos (NBR 11578, ABNT 1991).
- c) Cimento Portland de alto-forno (CP III); é considerado um cimento de uso geral, porém possui características que atribuem seu uso em condições onde se faz necessário baixo calor de hidratação, resistência a sulfatos e em misturas onde o agregado é reativo com álcalis, é permitido uma variação de 35 a 70% de adição de escoria de alto forno em sua mistura. Encontrado com as nomenclaturas que fazem referência a sua classe de resistência CP III-25, CPIII-32 e CPIII-40 (NBR 5735, ABNT 1991)
- d) Cimento Portland Pozolânico (CP IV); amplamente utilizado por sua disponibilidade no mercado, possui uma adição de 15 a 50% de pozolana (derivado de cinza volante, possui sílica em sua composição) fator que

atribui maior durabilidade e baixa permeabilidade, podendo ser utilizado em situações de contato com água e ambientes agressivos. Sua classe de resistência define suas nomenclaturas sendo elas CP IV-25 e CP IV-32 (NBR 5736, ABNT 1999).

- e) Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI); como o nome já diz este cimento é caracterizado pelo seu alto ganho de resistência inicial sendo amplamente utilizado em situações que exijam uma rápida desforma. Não possui adições em sua mistura e é constituído por um clínquer de moagem mais fina, a sigla ARI representa o ganho de resistência aos 7 dias de 34 Mpa (NBR 5735, ABNT 1991).

Além dos tipos de cimento Portland supracitados são encontrados ainda cimento Portland resistente aos sulfatos (RS), cimento Portland branco (CPB), cimento Portland de baixo calor de hidratação (BC) e cimento para poços petrolíferos (CPP). Dos tipos descritos os utilizados em maior escala no Brasil são, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI, conforme a região do país, os demais são utilizados para as situações específicas que foram fabricados. As informações para a descrição dos tipos de cimento foram extraídas das seguintes fontes: ABCP, 2012; NEVILLE E BROOKS, 2013; PETRUCCI, 1998; BAUER, 2000; METHA e MONTEIRO, 2014, além das normas brasileiras citadas no final de cada parágrafo.

Com o conhecimento dos tipos de cimento se faz necessário entender algumas reações que são as geradoras do produto de interesse desse estudo como a hidratação do cimento, tempo de pega, expansibilidade e a resistência.

A hidratação do cimento é definida por Neville e Brooks (2013) como a reação do cimento com a água, formando compostos hidratados que no final de um período se tornam uma massa sólida e resistente. Para Metha e Monteiro (2014) a hidratação se dá por reações simultâneas dos aluminatos e silicatos com a umidade, mas em velocidades diferentes. Os aluminatos por sua vez conferem as características de enrijecimento e solidificação da mistura já os silicatos que compõem cerca de 75% do cimento Portland comum influenciam no desenvolvimento de resistência.

Para Bauer (2000), o tempo de pega do cimento é uma consequência do processo de hidratação e pode ser definido em duas fases, a pega propriamente dita

no início da hidratação do cimento (início de pega) e o endurecimento no final do processo (fim de pega). O tempo de pega é quem define até quando é possível manusear as argamassas e concretos, de modo que após o início do endurecimento da pasta o composto cimentício deve permanecer em repouso para a cura.

A expansibilidade ou estabilidade de volume do cimento é tratada por Petrucci (1998) como sendo provocada pela hidratação sem dissolução previa da cal e da magnésia cristalizada, assim sendo o teor máximo permitido de magnésia cristalizada no cimento é de 2% a fim de evitar esse fenômeno. Para Neville e Brooks (2013) uma expansão excessiva pode causar desagregação da pasta de cimento endurecida e cimentos que apresentam esse tipo de expansão são classificados como expansivos.

A resistência do cimento possui grande influência em sua escolha para o uso em diferentes tipos de argamassa e concreto. Os ensaios realizados para a obtenção desses valores devem então ser feitos aplicando o cimento em misturas rigorosamente definidas de argamassas e concretos e posteriormente testar sua resistência em ensaios de flexão, tração ou compressão sendo esse último o mais utilizado. O ensaio de compressão é normatizado pela NBR 7215 (ABNT, 1996), que utiliza corpos de prova cilíndricos preenchidos com argamassa de cimento e areia normal, nas proporções de 1:3 e relação água/cimento de 0,48 (PETRUCCI, 1998; NEVILLE e BROOKS, 2013).

2.1.2 Agregados

Os agregados compõem aproximadamente 60 a 80% da massa de concreto. São materiais que, quando comparados aos demais, não possuem valor monetário tão significativo e também não reagem de forma significativa com a água, por esse motivo são considerados como material de enchimento inerte (TARTUCE e GIOVANETTI, 1990). De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), agregado é todo material de formato granular que possua dimensões e características passíveis de serem incorporadas a argamassas e concretos, podendo ser de origem natural,

quando extraídos diretamente da natureza, ou de origem artificial, tendo sua estrutura original alterada por algum processo químico ou físico-químico.

Para Metha e Monteiro (2014) os agregados utilizados no concreto devem ser classificados conforme a dimensão máxima de suas partículas e suas características são definidas quanto absorção d'água e porosidade, granulometria, forma e textura superficial, resistência a compressão e abrasão e tipos de substâncias deletérias presentes. Tais características são herdadas da rocha mãe, concebidas por intempéries e uso de equipamentos para a extração.

Os agregados podem ser classificados ainda de acordo com sua densidade (d) aparente média e denominados leves, médios e pesados. Os agregados classificados como leves que merecem destaque pelo seu uso são a argila expandida ($d=0,8$) e a escória granulada ($d=1,0$), os agregados considerados médios são os empregados com maior frequência na fabricação de concreto, entre eles destaca-se arenito ($d=1,45$), cascalho ($d=1,6$), granito ($d=1,5$), areia ($d=1,5$), basalto ($d=1,5$) e escoria ($d=1,7$) já os materiais considerados pesados tem pouco uso na fabricação de concreto e em destaque esta hematita ($d=3,2$) e a magnetita ($d=3,3$) (BAUER, 2000).

Para fins de dosagem do concreto uma característica importante é a massa específica unitária das partículas do agregado. A massa unitária dos agregados utilizados no concreto pode variar de 1300 a 1750 kg/m³, e esses valores são compostos pelo volume das partículas do agregado e os vazios existentes entre elas. A relação entre a massa unitária compactada e solta resulta no índice de vazios, tornando essa característica de importante valor econômico pois o volume de vazios existentes no agregado influencia no teor de cimento a ser utilizado na mistura (HAGEMANN, 2011).

A porosidade e a capacidade de absorção de água dos agregados possuem relação com a resistência a abrasão, aderência entre os agregados e a pasta de cimento e a estabilidade dos compostos químicos da mistura. Devido a composição do concreto, ser de cerca de 3/4 de agregados, a porosidade do mesmo influencia diretamente na porosidade do concreto, uma vez que mesmo os poros de menor dimensão do concreto são maiores que as partículas de cimento e dependendo da ordem de mistura dos materiais na betoneira pode absorver parte da água e influenciar

também na relação a/c alterando os aspectos de trabalhabilidade e resistência do concreto (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Para Hagemann (2011) o teor de umidade nos agregados afeta as quantidades de água e de materiais na mistura. Se tratando do excesso de umidade presente no agregado devido a exposição a condições climáticas é um dado relevante que quando somado a absorção nos dá o valor do total de água presente nos agregados. O equilíbrio da quantidade de umidade na mistura é feito reduzindo a água do traço e substituindo-a pela quantidade de agregado que expressa a massa do teor de umidade.

A resistência dos agregados é determinada através de suas características resistentes mecânicas. A abrasão é o desgaste da superfície do agregado, e para determinar a resistência do mesmo a esse fenômeno mede-se a capacidade que o agregado possui em não alterar seu formato quando movimentado, carregado ou estocado. A resistência mecânica à compressão do agregado compreende o fenômeno de esmagamento do mesmo causando a fissuração do grão e por consequência altera a granulometria, impactando na propriedade resistente da mistura. Valores aceitáveis para agregados mais densos como granitos e basaltos giram em torno de 210 a 310 MPa (METHA e MONTEIRO, 2014).

Os agregados são classificados pela NBR 7211 (ABNT, 2009) quanto a sua granulometria a fim de determinar a distribuição de suas dimensões e sua graduação. Os agregados são separados em miúdos e graúdos, sendo a separação feita pelos grãos de dimensão superior e inferior a 4,75mm. Sendo os agregados miúdos os grãos que passam pela peneira com abertura 4,75mm (>95%) e ficam retidos na peneira 0,075mm. Nesse grupo estão presentes as areias que tem sua origem natural proveniente de rios, cavas (depósitos profundos cobertos por solo) e de praias e dunas, e sua origem artificial da britagem e de escoria de alto forno. O agregado graúdo são os grãos que passam pela peneira de 75 mm (>95%), ficam retidos na peneira 4,75 mm, e nesses grupos estão presentes cascalho, arenito, basalto e todos os agregados que se enquadram na faixa de 4,75 a 152mm (HAGEMANN, 2011; BAUER, 2000).

Agregados de maior dimensão possuem menor necessidade de água para molhar sua superfície por unidade de peso ou volume (superfície específica). A fim de diminuir ou manter a relação w/c e por consequência aumentar a resistência final do concreto, e conseguir uma significativa redução no consumo de cimento acarretando em uma economia considerável, é possível aumentar a dimensão do agregado (Neville e Brooks, 2013). O aumento é definido pela abertura da peneira na qual ficam retidos 15% ou mais grãos, esse limite é denominado dimensão máxima do agregado. Porém deve-se levar em consideração as propriedades esperadas do concreto, pois dimensões maiores podem causar fissuras na transição entre o agregado e a pasta de cimento, para situações onde a resistência é a propriedade principal o diâmetro máximo deve ser de 19mm e ainda deve-se observar onde a um espaçamento mínimo de armadura e um cobrimento a ser respeitado (METHA e MONTEIRO, 2014).

2.1.3 Água para Amassamento

É fato que qualquer água, potável ou de reuso, pode ser utilizada no concreto. Para Petrucci (1998), pequenas variações na quantidade de impureza são toleráveis, ainda que para fins mais seguros deve-se utilizar uma água de amassamento com pH (Acidez), entre 6 e 8, e preferencialmente com uma concentração de silte menor que 0,2 %. Neville e Brooks (2013), relatam ainda que o teor de sódio e potássio pode influenciar na reação álcali-agregado, assim sendo a qualidade da água deve sim ser levada em conta para a fabricação de um concreto que atenda o desempenho exigido. A NBR 12655 (ANBT, 2015), salienta que para sua utilização no concreto deve estar livre de contaminação por agentes externos, para tal feito deve permanecer em reservatório isolado de tais ações.

2.1.4 Aditivos

Segundo Coutinho (1997 *apud* HARTMANN, 2002), o uso de aditivos data dos antigos romanos que acrescentavam clara de ovo, leite e outros materiais ao concreto e argamassas para melhorar sua trabalhabilidade, no entanto foi na década de 60 que estudos mais aprofundados acrescentaram aditivos a base de melanina e naftaleno no mercado do concreto. De acordo com a NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivos servem para alterar as características do concreto quando adicionados em quantidades controladas, a fim de melhorar o desempenho. A NBR 12655 (ABNT, 2015), complementa que aditivo é um produto incorporado ao concreto em uma quantidade não maior que 5% de sua massa cimentícia e tem o propósito de alterar algumas de suas características no estado fresco ou endurecido. A classificação dos aditivos é feita de acordo com a função principal e tem como fundamentação a NBR 11768 (ABNT, 2011), assim sendo os mesmos são classificados como:

- a) Aditivo plastificante (P); tem por finalidade aumentar o índice de consistência do concreto, por conseguinte aumentando a fluidez ou o abatimento, mantendo a quantidade de água de amassamento ou ainda reduzindo até 6% a quantidade da mesma. Essa categoria é subdividida pelas funções que cada aditivo plastificante como, retardador de pega (PR), acelerador de pega (PA), caso não possua uma característica secundária mantém-se então como aditivo plastificante normal (PN).
- b) Aditivo superplastificante tipo I (SPI); possui grande capacidade de redução de água sem influenciar a consistência, aumentando consideravelmente a fluidez ou abatimento do concreto, também possui características secundárias como a aceleração da pega (SPI-A), retardo da pega (SPI-R), ou comportar-se sem alteração de sua característica principal (SPI-N).
- c) Aditivo superplastificante tipo II (SPII); sem alterar a consistência do concreto reduz grande quantidade de água (maior que SPI), aumentando consideravelmente o abatimento e a fluidez do concreto, possui como funções secundárias em alguns casos o retardo de pega (SPII-R), aceleração da pega (SPII-A) e também se encontra disponível em seu estado normal (SPII-N).

- d) Aditivo Incorporador de Ar (IA); como o nome já define, serve para incorporar ar no interior do concreto fresco através de pequenas bolhas que se mantem no estado endurecido.
- e) Aditivo acelerador de pega (AP); função principal retardar o processo de endurecimento do concreto, ideal para climas mais frios.
- f) Aditivo acelerados de resistência (AR); aumenta o ganho de resistência do concreto nos primeiros dias, podendo influenciar ou não no tempo de pega.
- g) Aditivo retardador de pega (RP); aumenta o processo de início da pega, e a passagem do concreto de plástico para endurecido.
- h) Aditivo Multifuncional; servem como plastificantes e redutores de água, possuem doses maiores que os plastificantes convencionais e atribuem um aumento na trabalhabilidade do concreto fresco.

Para Neville e Brooks (2013), os aditivos redutores de água possuem agentes tensoativos que tem afinidade com as partículas de cimento fornecendo cargas negativas, repelindo as partículas e estabilizando a dispersão, além de impedir as bolhas de ar de ficarem aderidas ao cimento. Isso faz com que as partículas se agitem, e como a água não sofre restrições, passa a lubrificar a mistura e aumenta a trabalhabilidade. A redução real do consumo de água está relacionada com a composição química do cimento e o tipo de agregado utilizado, a fim de evitar problemas como segregação, exsudação e perda de abatimento deve-se executar misturas experimentais antes do traço definitivo, porém é previsto que o aditivo plastificante multifuncional reduza a água entre 5 e 15 %. O autor comenta ainda que aditivos a base de ácido lignosulfônico ajudam a melhorar a coesão, diminuindo a perda de abatimento, e como ocorre uma melhor hidratação das partículas de cimento tem-se um ganho de resistência nas primeiras idades, e com a dispersão das partícula de cimento pelo concreto é possível um aumento da resistência final do mesmo. Esse tipo de aditivo funciona bem com todos os cimentos porém existe um ganho ainda maior se este possuir um baixo teor de álcalis e C³A, se utilizado de forma correta é possível também aumentar a durabilidade da mistura.

O Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI, 2015), define em seu manual de aditivos para concreto que, a aplicação de plastificante e superplastificante confere vantagens ao concreto. O aumento da consistência, onde sem adicionar mais água

temos um ganho na fluidez do concreto, o aumento da resistência, uma vez que para reduzir o consumo de água basta manter fixo o consumo de cimento e a consistência. Ainda se for a necessidade reduzir o consumo de cimento, basta dosar o aditivo de forma a reduzir a relação a/c sem que isso altere a consistência.

Para Metha e Monteiro (2014), os aditivos redutores de água além de influenciar positivamente nas taxas de hidratação do cimento, contribuem consideravelmente para o ganho de resistência inicial, e influenciam no ganho de resistência final. A fim de calcular a quantidade de aditivo a ser utilizada na mistura de concreto, faz-se uma relação de sua massa com a massa de cimento, ou se houver adições a soma das massas de cimento mais adições, com isso obtém-se a porcentagem de aditivo a ser utilizada.

2.2 Propriedades do Concreto Fresco

O concreto é considerado fresco até o início da pega do aglomerante (cimento Portland). Uma mistura considerada de boa qualidade não deve segregar e tem que garantir facilidade no transporte, adensamento e lançamento. A fim de atender tais exigências, deve-se avaliar a consistência, plasticidade e trabalhabilidade (ARAÚJO et al., 2000. Pag. 51). O grau de adensamento afeta diretamente na qualidade do concreto no final de seu ciclo de cura. Estando tal propriedade vinculada ao concreto em seu estado fresco, salienta a importância que a trabalhabilidade possui para garantir que o concreto chegue até seu destino sem segregar e que possa ser facilmente bombeado (NEVILLE e BROOKS, 2013).

2.2.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade está relacionada com a obtenção do adensamento total do concreto fresco, a fluidez da mistura e o tipo de aplicação. Para que o adensamento ocorra, é necessário que o atrito interno entre as partículas individuais do concreto

seja reduzido, esse processo de redução é denominado trabalho interno útil. Devido ao manuseio do concreto nas etapas posteriores fica difícil determinar a trabalhabilidade pela sua definição, sendo avaliada então para cada traço e cada aplicação (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Além de trabalhabilidade também pode-se utilizar outro termo para descrever o concreto em estado fresco, a consistência, que é uma maneira de determinar a resistência a deformação do concreto, ou em outras palavras, a facilidade com que a mistura flui. Também serve como medida de umidade do concreto, pois quanto maior a quantidade de água, dentro de limites aceitáveis, maior é a trabalhabilidade. Embora a água seja fator comum em ambos os parâmetros, concretos que possuem a mesma consistência podem ter trabalhabilidades diferentes (METHA e MONTEIRO, 2014).

Araújo et al. (2000. Pag. 51), considera trabalhável um concreto que foi dosado com a finalidade de ocupar espaços em diversas situações de obra e que consiga atingir também seu grau de adensamento. Para atingir a trabalhabilidade esperada deve-se levar em conta a quantidade de água, a granulometria e o tipo de agregado utilizado para a mistura, a finura do cimento e a presença ou não de aditivo.

Segundo Neville e Brooks (2013), um dos fatores que mais possui influencia na trabalhabilidade do concreto é a quantidade de água no traço. Com sua adição, mesmo que em pequenas quantidades, a lubrificação entre as partículas é aumentada tornando o concreto mais fluido e aumentando a trabalhabilidade. Outro fator importante é a dimensão do agregado, existe uma relação entre a dimensão das partículas e a necessidade de água na mistura, a superfície específica de partículas finas necessitam de maiores quantidades de água.

Para Bauer (2000) existem ainda dois outros fatores importantes que influenciam na trabalhabilidade, tempo e temperatura. O enrijecimento do concreto é influenciado pela perda de trabalhabilidade ou perda de abatimento em função do tempo. Já a temperatura possui uma relação, onde, quanto maior sua grandeza na mistura menor será a trabalhabilidade.

2.2.2 Coesão e Segregação

A coesão possui influência significativa na trabalhabilidade do concreto fresco e está ligada diretamente com a capacidade de manter uma mistura homogênea. No concreto a principal influência é a da quantidade de finos na mistura e na proporção e granulometria dos agregados (PETRUCCI, 1998).

A segregação é definida como a separação dos componentes de uma mistura heterogênea perdendo a uniformidade da mistura. Para o concreto a segregação é causada principalmente pela diferença entre a dimensão das partículas, e a diferença de massa específica dos materiais, necessitando assim de um controle na escolha dos componentes da mistura (BAUER, 2000).

Para Neville e Brooks (2013), quando transporte, manuseio do concreto no canteiro de obras, lançamento de alturas consideráveis e outros fatores que envolvam movimentação excessiva da mistura forem presentes deve-se usar misturas com maior valor de coesão. Outro exemplo crítico de segregação é o uso de maneira abusiva do vibrador no momento de espalhar o concreto nas formas, devido ao alto nível de energia empregado pelo equipamento a mistura a possibilidade de separação das partículas aumenta.

A necessidade de transporte do concreto fresco por caminhões betoneiras é um agravante para a segregação, devido a vibração do caminhão causado pelas condições da estrada de rodagem, manobras e ou movimentação excessiva. Nessas condições temos a possibilidade de separação do agregado graúdo da argamassa, e o problema é intensificado conforme a distância ou as condições de movimentação aumentam, (TANGO, 2005, apud. MASCOLO, 2012).

Um método prático de observar a segregação do concreto no canteiro de obras é vibrar uma porção de concreto em um cilindro ou cubo e observar a separação dos materiais. Medidas para amenizar o efeito de segregação das misturas vão desde o uso de aditivo incorporador de ar ao aumento da coesão na mistura com a adição de materiais que possuam a capacidade de alterar essa característica (NEVILLE e BROOKS, 2013).

2.2.3 Exsudação

Uma vez que as partes sólidas da mistura concreto fresco não possuem capacidade de reter a água de amassamento, parte dela fica na superfície do concreto recém lançado causando então o fenômeno de exsudação. Uma outra parte fica retida embaixo das maiores partículas de agregado gerando zonas de baixa aderência (PETRUCCI, 1998). Uma maneira de perceber o fenômeno de exsudação é verificar a face do concreto a fim de encontrar uma camada de água proveniente da mistura, essa situação ocorre por falta de finos. Uma maneira de corrigir esse fenômeno seria adicionar mais cimento, mudar a granulometria do agregado miúdo ou utilizar aditivos minerais (HELENE e TUTIKIAN, 2012).

Existe possibilidade de impacto positivo no aumento da resistência do concreto quando ocorre o fenômeno de exsudação, uma vez que a relação a/c é diminuída, e o processo de evaporação ocorra naturalmente. Porém se a água subir para a superfície carregando partículas finas pode haver formação de nata e, por conseguinte criar uma camada que não possibilitara uma boa aderência. Existem ainda vários outros problemas ligados a exsudação do concreto. A formação de camadas superficiais de baixa resistência ao desgaste, fissuração por retração plástica (quando a velocidade de evaporação for maior que a exsudação), criação de regiões de baixa aderência, formação de camadas de nata na superfície que quando secas passam a gerar pó, entre outras relacionadas ao acabamento final (NEVILLE e BROOKS, 2013).

2.3 Propriedade do Concreto Endurecido

Bauer (2000), considera que a partir da pega o concreto já passa a assumir características de solidificação. O processo de solidificação é constante e as propriedades adquiridas variam em função do tempo, condições ambientais, químicas, mecânicas e físicas. Até atingir sua cura, os eventos citados irão lentamente alterando as condições finais do concreto atribuindo qualidades ou defeitos em sua estrutura.

Já para Sobral (1980), o concreto endurecido não pode ser considerado como um sólido. A influência da temperatura na água presente nos poros da pasta causam alterações em sua tensão superficial alterando o volume da pasta deixando-a com características similares a de um gel, sendo essas alterações dependentes da situação em que se encontra a estrutura no ambiente.

As características obtidas pelo concreto ao longo de seu processo de cura são atribuídas a sua condição de uso. Concretos utilizados em regiões onde a presença de água é constante devem possuir a impermeabilidade como característica principal, em situações onde existe exposição a produtos agressivos o concreto deve atender os requisitos de durabilidade e para suportar carregamentos oriundos de esforços mecânicos o concreto deve atender as exigências de resistência mecânica e rigidez (BAUER, 2000).

Para Neville e Brooks (2013), a resistência mecânica é a propriedade de maior importância do concreto endurecido uma vez que está relacionada diretamente a qualidade da mistura que é proveniente da pasta de cimento. No entanto deve-se levar em conta as situações que exigem qualidades específicas de uso do concreto, como, durabilidade, impermeabilidade e estabilidade de volume.

2.3.1 Resistência Mecânica

O concreto resiste cerca de dez vezes mais aos esforços de compressão do que aos esforços de tração. Assim os materiais empregados na composição do concreto são dimensionados para resistir o esforço de compressão. Embora em situações reais o concreto sofra todos os tipos de tensões (compressão, cisalhamento e tração) simultaneamente em várias direções, para determinar a resistência de maneira simplificada em laboratório utiliza-se o ensaio de compressão uniaxial aos 28 dias (PETRUCCI, 1998).

O controle de qualidade do concreto é feito em grande parte das situações avaliando a sua resistência. Tal característica está diretamente ligada à sua composição, idade e a interação entre seus materiais constituintes. Entre os principais

fatores que influenciam na resistência mecânica no concreto endurecido destacam-se: a relação água/cimento, a forma e granulometria dos agregados, o tipo de cimento, a velocidade e a duração da aplicação do carregamento (HELENE e TERZIAN, 1992)

Para Metha e Monteiro (2014), a resistência é um parâmetro facilmente estimado devido a simplicidade do ensaio realizado para determiná-la. A partir dos dados de resistência é possível deduzir várias outras propriedades importantes do concreto, como módulo de elasticidade e impermeabilidade por exemplo, justificando a importância da avaliação deste parâmetro. Para obtenção de um concreto que atenda uma resistência específica é necessário um dimensionamento adequado dos materiais que irão compô-lo, conhecendo suas principais funções e onde cada um influencia na mistura.

Dentre os principais fatores que influenciam na resistência do concreto o que merece destaque é a porosidade. Para hidratar a pasta de concreto a relação a/c deve ser maior ou igual a 0,36, uma parte dessa água permanece em estado livre na pasta (cerca de 28%) e evapora a temperatura ambiente deixando vazios os espaços onde estava presente ocasionando então um aumento nos poros do concreto. Além disso o grau de adensamento do concreto pode deixar ar aprisionado na pasta caso haja falhas na compactação, a medida da porosidade é o total de vazios deixados na pasta. A porosidade ainda sofre influência devido à dimensão máxima dos agregados e a idade do concreto (idade maior, menor porosidade). Devido à dificuldade de encontrar valores precisos para a porosidade em ensaios são utilizados na prática os valores da relação a/c, idade, temperatura e grau de compactação para determinar a resistência da mistura (NEVILLE e BROOKS, 2013; BAUER, 2000).

2.3.2 Durabilidade

O conceito de durabilidade do concreto é definido pela NBR 6118 (ABNT, 2014), como sendo a capacidade da estrutura em resistir às ações do ambiente em que está inserida. Para Isaia (2011) tal capacidade não depende apenas do ambiente, mas também da maneira com que a estrutura foi executada, os materiais que a compõem

e as atividades executadas sobre a mesma durante sua vida útil. Bauer (2000) define durabilidade como a resistência que a massa de concreto possui quanto a ações químicas, abrasivas e do tempo de exposição a situações que possam causar deterioração da estrutura.

Neville e Brooks (2013) relaciona a durabilidade do concreto com sua permeabilidade. A quantidade de vazios presentes na massa de concreto abre espaços para a ação de agentes químicos, além de reduzir a resistência mecânica da estrutura. Um concreto com menor número de vazios (poros) se torna um concreto mais resistente e durável pois a presença de água e contaminantes passa a ser menor.

Outra característica ligada a durabilidade do concreto é sua resistência a abrasão. O atrito causado pelo arraste sobre a estrutura de concreto pode causar danos a sua superfície por abrasão, os danos são passíveis de redução em concretos que não sofreram exsudação ou em misturas feitas propriamente para resistir a tais esforços com agregados mais resistentes a esse fenômeno por exemplo (METHA e MONTEIRO 2014).

2.4 Dosagem do Concreto

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), dosagem é o procedimento utilizado para medir o volume dos materiais a fim de obter as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com o menor custo possível. O mesmo procedimento é comumente confundido com o traço, para que não haja tal confusão a NBR 12655 (ABNT, 2015) define traço, como a relação entre o volume dos materiais necessários para a fabricação do concreto. Assim temos que traço é o resultado obtido do estudo de dosagem.

A dosagem de concreto deve ser executada levando em consideração os aspectos técnicos e econômicos. Mesmo existindo divergência entre economia e qualidade alguns aspectos como a escolha dos materiais e as características da obra são de extrema importância a fim de manter controle de alguns parâmetros como,

trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade (RECENA, 2002, *Apud* TUTIKIAN, 2004, p. 69). Dosar corretamente os materiais exige que se tenha o conhecimento dos parâmetros de projeto. A fim de aliar economia com qualidade do produto final deve-se conhecer a resistência desejada e o tempo para atingi-la, a condição do ambiente de exposição, o padrão de qualidade da obra, qual o processo de adensamento, espaçamento de armadura, capacidade do equipamento de mistura e características dos agregados e materiais empregados (SOBRAL, 1980).

O processo de dosagem deve ser entendido como uma maneira de adequar o concreto para as condições nas quais ele será utilizado. Devido à grande variedade de materiais e de procedimentos possíveis de serem utilizados para determinar traços de concreto se faz necessário entender as necessidades para as quais o estudo de dosagem está sendo direcionado, sendo então possível a determinação de um único traço que atenda a todas as necessidades de projeto. Sejam tais exigências melhor trabalhabilidade, resistência mecânica ou durabilidade por exemplo (RECENA, 2011).

Desde o início dos estudos de dosagem de concreto vários procedimentos surgiram, esses são denominados métodos de dosagem e são classificados em experimentais e empíricos. O conceito de dosagem experimental é definido como preciso e econômico por levar em consideração materiais previamente selecionados e experimentos específicos. O método empírico é definido como a utilização de resultados obtidos em pesquisas, valores médios para características do agregado e do cimento, valores tabelados e obtidos em curvas experimentais para relação a/c e outras características da mistura. Mesmo considerando a utilização de agregados de uma mesma região tais métodos sempre irão necessitar de correções e adaptações no traço (PETRUCCI, 1998; RECENA, 2011)

O estudo de dosagem estabelece alguns parâmetros que devem ser quantificados como trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade. Esses parâmetros são influenciados por relações importantes entre os materiais que compõem a mistura como a relação a/c e também a escolha dos agregados, do cimento e suas proporções. Tais assuntos serão abordados a seguir.

Recena (2011), considera que a trabalhabilidade é uma propriedade ligada a composição do concreto. De maneira simples tal composição é definida como pasta

(cimento, água e ar), agregado miúdo (areia) e agregado graúdo sendo a argamassa uma união das duas primeiras partes da composição. Temos então que a trabalhabilidade deve ser medida em função das relações pasta/agregado total e argamassa/ agregado graúdo. Contudo que o teor de argamassa seja tal que possa preencher os vazios deixados pelo agregado graúdo e permitir sua movimentação durante o processo de adensamento é possível melhorar a trabalhabilidade aumentando o volume da pasta, para isso basta adicionando água, cimento, ar, ou combinado as três de forma controlada, ainda é possível o uso de aditivos desde que seja considerado a relação custo benefício.

Maltz (1955, apud BOGGIO, 2000), considera uma vínculo indireto entre a relação água/cimento e a consistência da massa de concreto. Uma vez que a consistência varia em função da quantidade de água e material cimentício presente. Destacando que ao aumentar a quantidade de água na mistura deve-se aumentar a quantidade de cimento a fim de não afetar a resistência da pasta, a menos que essa diferença for compensada com uso de aditivos redutores de água.

Para determinar a consistência de maneira fácil tanto em laboratório quanto no canteiro de obras é possível utilizar o ensaio de abatimento pelo tronco de cone (*slump test*) descrito pela NBR NM 67 (ABNT, 1998). Esse ensaio permite obter a relação água/materiais secos (massa de água em relação a massa da mistura de cimento e agregados) e de forma indireta também pode se obter a relação água/cimento.

A base para determinar a resistência mínima do concreto é o valor estabelecido pelo projetista estrutural. A favor da segurança a resistência de dosagem deve apresentar um valor superior a resistência mínima ou de projeto, assim o valor correto a ser utilizado para fins de cálculo é o da dosagem e não o especificado em pelo projetista. Os dados utilizados na obtenção do valor da resistência através dos métodos empíricos são extraídos de tabelas baseadas no teor de ar incorporado e na relação água/cimento, assim destaca-se a importância de conhecer o teor de umidade do agregado a fim de aplicar correções nas quantidades de areia, agregado graúdo e água de amassamento (METHA e MONTEIRO, 2014).

Outra propriedade obtida através dos estudos de dosagem é a durabilidade. Embora para condições de uso normal da estrutura de concreto essa a avaliação

desse parâmetro seja substituída pela análise da resistência, o mesmo se torna necessário em condições onde exista exposição a águas ácidas por exemplo. Uma maneira de aumentar a durabilidade do concreto é através do uso de aditivos ou adições por exemplo. Diminuir a relação água/cimento aumenta consideravelmente a durabilidade do concreto devido a influência que este fator possui na redução da permeabilidade. (PETRUCCI, 1998; METHA e MONTEIRO, 2014).

A escolha do agregado é norteadada pelo espaçamento entre as armaduras e largura da seção na qual será disposto o concreto. Atendendo a esses critérios deve-se utilizar a maior partícula economicamente disponível. Uma característica importante do agregado é sua uniformidade, afim de obedecer um critério de quantidade de água a adicionar na mistura, uma granulometria descontínua com excesso de finos pode requerer mais água e, por conseguinte aumentar a trabalhabilidade e afetar a resistência. Além do agregado a escolha do tipo de cimento é outro fator a se considerar no processo de dosagem, esse geralmente é levado em consideração pela disponibilidade, clima e condição em que o concreto será lançado, e a necessidade de ganho de resistência inicial (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Entre os métodos de dosagem utilizados no Brasil os que merecem destaque segundo Boggio (2000) são:

Método IPT / EPUSP (Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo adaptado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), Método ABCP / ACI (desenvolvido pelo American Concrete Institute e adaptado as condições nacionais pela ABCP), Método INT (desenvolvido pelo Instituto Nacional do Rio de Janeiro em 1937), Método ITERS (desenvolvido pelo Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul em 1951) e Método SNCF (desenvolvido pela Societé Nationalis de Chemis de Fer Français em 1948 para o sifão do Rio Pinheiros em São Paulo).

Para este estudo será utilizado o Método ABCP / ACI, e para isso segue uma descrição resumida de sua estrutura.

O método ABCP é baseado na norma ACI 211.1-81 (*Revised 85*), foi adaptado para se adequar a norma brasileira NBR 7211/1983, permitindo a utilização de agregados britados e areia proveniente de rios. O método de dosagem utiliza tabelas

e gráficos feitos a partir de valores obtidos em experimentos, é utilizado para dosar concretos convencionais utilizando os agregados das diversas regiões do país.

Com a evolução dos materiais de construção e o aparecimento de métodos mais simplificados e precisos o método passou a ser pouco utilizado para criar traços definitivos, servindo então para obter um traço-base e com esse moldar os corpos de prova para os ensaios de resistência, consistência e durabilidade e com os resultados obtidos fazer os ajustes necessários nas dosagens.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

Para realização do estudo foi utilizado:

- a) Cimento Portland CP IV–32, por ser encontrado com facilidade no comércio local;
- b) Areia, proveniente de extração fluvial na região;
- c) Brita tipo 01, proveniente de basalto extraído em pedreira local;
- d) Água, disponível da rede de abastecimento do laboratório da UNIVATES;
- e) Aditivo do tipo plastificante multifuncional redutor de água à base de ácido lignossulfônico.

Os materiais supracitados foram caracterizados utilizando os equipamentos disponíveis no laboratório da UNIVATES e de acordo com as normatizações especificadas para cada material. As características necessárias para obtenção dos traços referência pelo método ABCP/ACI são:

3.1.1 Massa Específica do Cimento

Para definir a massa específica do cimento foi utilizado o frasco volumétrico de *Le Chatelier*. O resultado é obtido dividindo a massa de cimento colocada no recipiente pela diferença de volume provocada pela adição do cimento (NBR 6474-NM 23/2001), conforme equação 1:

$$\text{Equação 01:} \quad y = \frac{m}{V_2 - V_1} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

O resultado obtido com o ensaio foi de 2.597,4 kg/m³. Não existe uma norma que determine limites de massa específica, porém para o cimento utilizado nesse estudo é admissível uma variação de 2.600,00 a 2.800,00 Kg/m³, conforme informações do fabricante. O ensaio foi realizado duas vezes e foi verificado uma variação menor que 0,02 g/cm³ (NBR 6474-NM 23/2001).

3.1.2 Caracterização do Agregado Graúdo

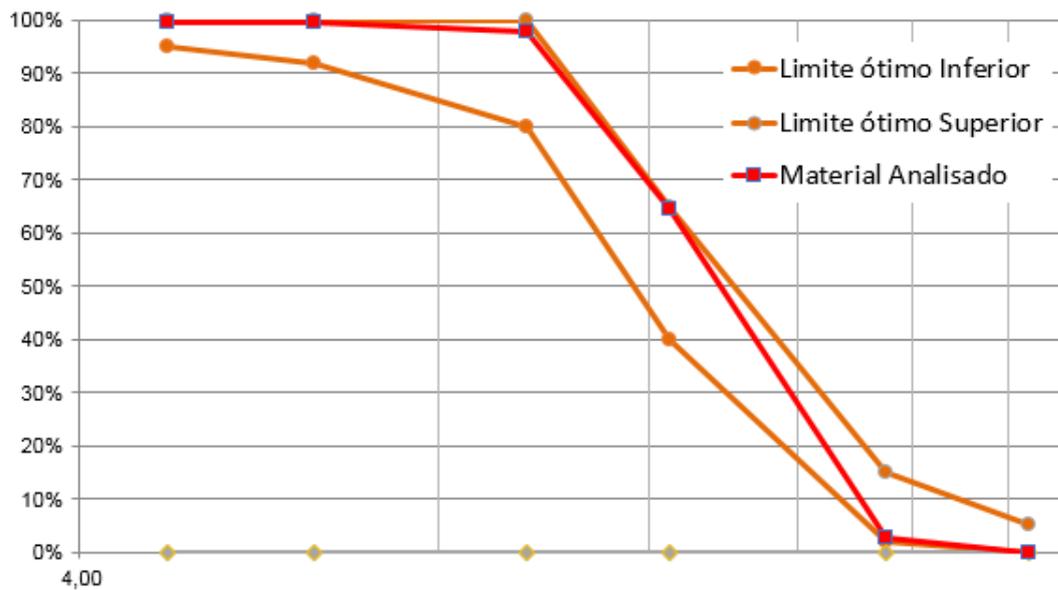
Para determinação da massa específica foi utilizado o procedimento regido pela NBR NM 53 (ABNT, 2009). Para determinar a dimensão máxima característica do agregado foi utilizado a NBR NM248 (ABNT, 2003) e massa unitária, regido pela NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados podem ser observados no quadro 01 e a curva granulométrica que pode ser observada no gráfico 01.

Quadro 01 – Granulometria do Agregado Graúdo

Granulometria Agregado Graúdo (Brita 1) - ABNT NBR NM 248 (2003)		
Abertura da Peneira	% Retida	% Retida Acumulada
25,00 mm	0%	0%
19,00 mm	3%	3%
12,50 mm	62%	65%
9,50 mm	33%	98%
6,30 mm	2%	100%
4,75 mm	0%	100%
Dimensão Máxima Característica		19 mm
Massa específica - ABNT NBR NM 53 (2009)		2.920,00 Kg/m ³
Massa unitária comp - ABNT NBR NM 45 (2006)		1.665,10 Kg/m ³

Fonte: O próprio autor (2017)

Gráfico 01 – Curva Granulométrica do Agregado Graúdo



Fonte: O Próprio Autor (2017)

A curva granulométrica nos mostra que a brita 1 está dentro dos limites aceitáveis determinados na norma.

3.1.3 Caracterização do Agregado Miúdo

Para caracterizar a massa específica da areia utilizou-se os procedimentos descritos pela NBR NM 52 (ABNT, 2002) e para determinar o módulo de finura a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os resultados podem ser observados no quadro 02 e a curva granulométrica no gráfico 02.

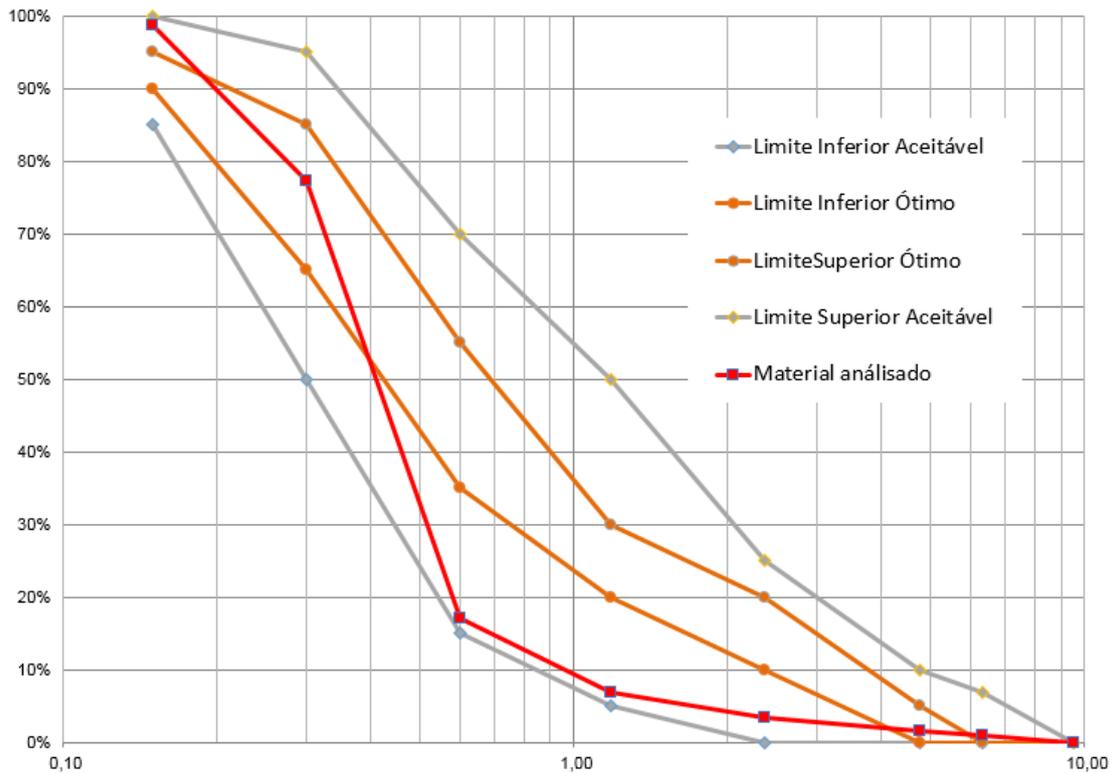
Com a análise da curva granulométrica é possível observar que embora próxima do limite inferior, a curva está dentro dos limites aceitáveis determinados na norma.

Quadro 02 – Resultado da Caracterização da Areia

Granulometria Agregado Miúdo (areia) - ABNT NBR NM 248 (2003)		
Abertura da Peneira	% Retida	% Retida Acumulada
9,5 mm	0%	0%
6,3 mm	1%	1%
4,75 mm	1%	1%
2,36 mm	2%	3%
1,18 mm	4%	7%
600µm	10%	17%
300µm	60%	77%
150µm	22%	99%
Fundo	1%	100%
Módulo de Finura		2,06
Dimensão Máxima Característica		2,4
Massa específica - ABNT NBR NM 52 (2002)		2.620,09 Kg/m ³

Fonte: O autor (2017)

Gráfico 02 – Curva Granulométrica da Areia



Fonte: O próprio autor (2017)

3.2 Métodos

3.2.1 Obtenção do Traço Unitário, Método ABCP

Com os materiais necessários caracterizados se fez possível obter os traços referência através dos procedimentos descritos pelo método ABCP, sendo eles:

3.2.1.1 Definição do Consumo de água

Conhecendo o valor do diâmetro máximo característicos do agregado graúdo que é 19 mm e como para esse estudo fixamos o abatimento esperado entre 80 e 100

mm é possível dar entrada na tabela 01 e assim temos que o consumo de água é de aproximadamente 205 l/m³.

Tabela 01 - Determinação aproximada do consumo de água (Ca) em l/m³

Abatimento (mm)	D _{máx} agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte – Adaptado de Rodrigues (1998)

3.2.1.2 Definição do Consumo de Cimento

Conhecendo o consumo estimado de água é possível calcular o consumo de cimento para cada relação a/c utilizando a equação 2 a seguir:

$$\text{Equação 02:} \quad Cc = \frac{Ca}{a/c}$$

Onde: Cc = consumo de cimento Ca = consumo de água a/c = relação água cimento

Com os valores obtidos com a equação 2 foi possível montar o quadro 03, que traz uma estimativa do consumo de cimento e assim sendo possível identificar os traços como rico, intermediário e pobre.

Quadro 03 – Consumo de Cimento para cada Traço.

	Consumo de Cimento
Traço Rico	455,6 Kg/m ³
Traço Intermediário	372,7 Kg/m ³
Traço Pobre	273,3 Kg/m ³

Fonte: O próprio autor (2017)

3.2.1.3 Definição do Consumo de Agregado Graúdo e Miúdo

O próximo passo é determinar o consumo de agregado graúdo para tal usaremos a tabela 02 relacionando o módulo de finura da areia com a dimensão máxima do agregado.

A equação 03 é utilizada para determinar o consumo do agregado graúdo (C_b)

$$\text{Equação 03:} \quad C_b = V_b \times M_u$$

Onde:

V_b = volume do agregado graúdo seco por m^3 de concreto

M_u = massa unitária compactada do agregado graúdo

Tabela 02 – Consumo de agregado graúdo

Módulo de finura da areia	Dmax do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
MF	volume compactado seco (V_{cs}) de agregado graúdo/ m^3 de concreto				
1.8	0.645	0.77	0.795	0.82	0.845
2.0	0.625	0.75	0.775	0.80	0.825
2.2	0.605	0.73	0.755	0.78	0.805
2.4	0.585	0.71	0.735	0.76	0.785
2.6	0.565	0.69	0.715	0.74	0.765
2.8	0.545	0.67	0.695	0.72	0.745
3.0	0.525	0.65	0.675	0.70	0.725
3.2	0.505	0.63	0.655	0.68	0.705
3.4	0.485	0.61	0.635	0.66	0.685
3.6	0.465	0.59	0.615	0.64	0.665

Fonte – adaptado de Rodrigues (1998)

Como o módulo de finura da areia utilizada no estudo é de 2,06 e o diâmetro máximo do agregado graúdo é de 19 mm, temos que nosso V_b ou V_{cs} é de 0,75, e

nossa massa unitária compactada da brita (M_u) 1665,10 kg/m³, sendo então o consumo de agregado Graúdo (C_b) estimado em 1248,89 kg/m³.

Para determinar o volume de areia (V_m) utiliza-se a equação 04 e para o consumo de agregado miúdo (C_m) segue equação 05:

$$\text{Equação 04:} \quad V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right)$$

$$\text{Equação 05:} \quad C_m = \gamma_m \times V_m$$

Onde:

C_c = consumo de cimento

γ_b = massa específica da brita

C_b = consumo de brita

γ_a = massa específica da água

C_a = consumo de água

γ_m = massa específica da areia

C_m = consumo de areia

V_m = volume de areia

γ_c = massa específica do cimento

Aplicando a equação 4 e a equação 5 é possível determinar o consumo de areia para cada traço, conforme mostra a quadro 04.

Quadro 04 – Consumo de Areia para Cada Traço.

	Consumo de Areia
Traço Rico	502,8 Kg/m ³
Traço Intermediário	586,4 Kg/m ³
Traço Pobre	686,6 Kg/m ³

Fonte: O próprio autor (2017)

3.2.1.4 Definição dos Traços Referência

Por final temos a apresentação do traço referência conforme equação 06 a seguir:

$$\text{Equação 06:} \quad \frac{C_c}{C_c} + \frac{C_m}{C_c} + \frac{C_b}{C_c} + \frac{C_a}{C_c}$$

O resultado é expresso na proporção de cimento: areia: brita e água, o mesmo representara um traço rico, um traço intermediário e um traço pobre, servindo como referência no qual serão acrescentados 3 teores (0,50; 0,75; e 1,0%) de aditivo plastificante multifuncional redutor de água a fim de reduzir a relação a/c mantendo a consistência fixa em 100 ± 10 mm. O quadro 05 traz os traços tidos como referência.

Quadro 05 - Definição dos Traços Referência

Traço	Cimento	Areia	Brita	Teor de Argamassa
Rico	1	1,10	2,74	43,50%
Intermediário	1	1,57	3,35	43,50%
Pobre	1	2,51	4,57	43,50%

Fonte: O próprio autor

Foi definido a moldagem de 2 corpos de prova por idade (7, 14, 28 e 63 dias). Assim foi estimado o consumo de material por traço, mantendo como referência o traço unitário e fixando a brita em 20,00 Kg, considerando que essa é a medida para uma betonada pequena de concreto (entre 90 e 100 litros), sendo que o aditivo foi calculado baseando-se na quantidade de aglomerante, obtendo as corretas proporções de materiais, conforme quadro 06.

Quadro 06 – Consumo de Material para cada Traço

Traço	Cimento Kg	Areia Kg	Brita Kg	Aditivo g
Rico 1;1,1;2,74	7,30	8,03	20,00	0,00
	7,30	8,03	20,00	36,50
	7,30	8,03	20,00	54,75
	7,30	8,03	20,00	73,00
Intermediário 1;1,57;3,35	5,97	9,38	20,00	0,00
	5,97	9,38	20,00	29,85
	5,97	9,38	20,00	44,78
	5,97	9,38	20,00	59,70
Pobre 1;2,51;4,57	4,37	10,97	20,00	0,00
	4,37	10,97	20,00	21,85
	4,37	10,97	20,00	32,78
	4,37	10,97	20,00	43,70

Fonte: O próprio autor (2017)

O material foi pesado e separado em recipientes (figura 01), a fim de facilitar a colocação dos mesmos na betoneira e assim sendo possível seguir a seguinte ordem de mistura: brita (total), cimento (parcial), água (parcial), aditivo (total), areia (total), água (parcial), cimento (restante) e água até atingir um aspecto visual satisfatório para realizar o “*slump test*”. O tempo de mistura foi de 3 a 5 minutos dependendo do abatimento obtido.

Figura 01 – Material Separado antes da Mistura



Fonte: O próprio autor (2017)

Para moldagem e cura seguiu-se os passos descritos na NBR 5738/2015, e para o ensaio de compressão dos corpos de prova foi seguido o procedimento descrito pela NBR 5739:2007.

3.2.2 Diagrama de Dosagem

Além da utilização de gráficos para análise final dos resultados foi possível também a montagem de um diagrama de dosagem para cada condição experimental seguindo os princípios estabelecidos pelas leis de Abrams, Lyse e Molinari.

3.2.2.1 Lei de Abrams

A lei de Abrams relaciona a resistência a compressão do concreto com sua relação a/c. Através da equação de Abrams é possível criar o primeiro quadrante do diagrama de dosagem com os valores das relações a/c e das resistências obtidas nos ensaios de rompimento dos cp's (FERREIRA,2012).

Equação de Abrams:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}$$

Onde:

f_c = Resistência do Concreto, k_1 e k_2 = Constantes que dependem dos materiais, idade e condições de cura e a/c = Relação água/cimento.

3.2.2.2 Lei de Lyse

A lei de Lyse define que para materiais de uma mesma natureza, formato, textura e dimensão máxima característica, a principal influência na consistência do concreto se dá através da relação da água/mistura seca, assim com sua equação e os valores da massa de água e massa de materiais secos (cimento, areia e brita) é possível determinar o segundo quadrante do diagrama (FERREIRA, 2012)

Equação de lyse:

$$m = k_3 + k_4 \cdot \frac{a}{c}$$

Onde:

m = massa de materiais secos (areia e brita/cimento), **k**₃ = -1 e **k**₄ = 1/H, onde H representa a massa de água/massa de materiais secos.

3.2.2.3 Lei de Molinari

Para obtermos o terceiro quadrante do diagrama de dosagem é necessário utilizar a equação de Molinari, baseada em sua lei que determina o consumo de cimento relacionado o mesmo com o valor do traço seco (**m**) obtido na equação de lyse (FERREIRA 2012).

Equação de Molinari:

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \cdot m}$$

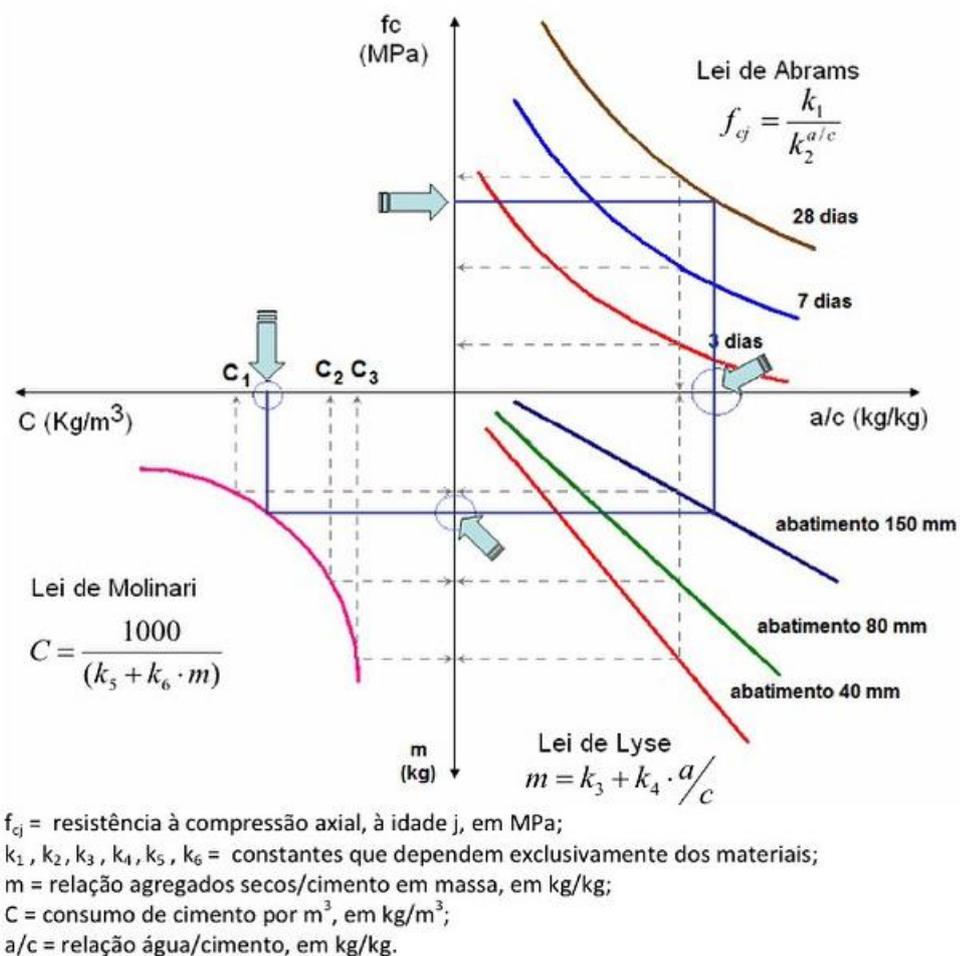
Onde:

C = Consumo de cimento, **k**₅ e **k**₆ = constantes que dependem dos materiais utilizados e **m** = massa de materiais secos (areia e brita/cimento).

3.2.2.4 Construção do Diagrama de Dosagem

A construção do diagrama de dosagem através das leis de comportamento do concreto, é possível com a obtenção das relações a/c, resistência mecânica do concreto e a aplicação desses dados nas equações. O diagrama é disposto em 3 quadrantes sendo o primeiro destinado a lei de Abrams relacionando o fator a/c com a resistência do concreto aos 7,14,28 e 63 dias (para esse estudo), o segundo quadrante é determinado pela equação de Lyse, representa a consistência do concreto em função da massa de água pela massa de materiais secos e cimento e o terceiro quadrante é estimado pela equação de Molinari que representa o consumo de cimento do traço (FERREIRA 2012). A figura 02 mostra o diagrama de dosagem.

Figura 02 – Exemplo de Diagrama de Dosagem Convencional.



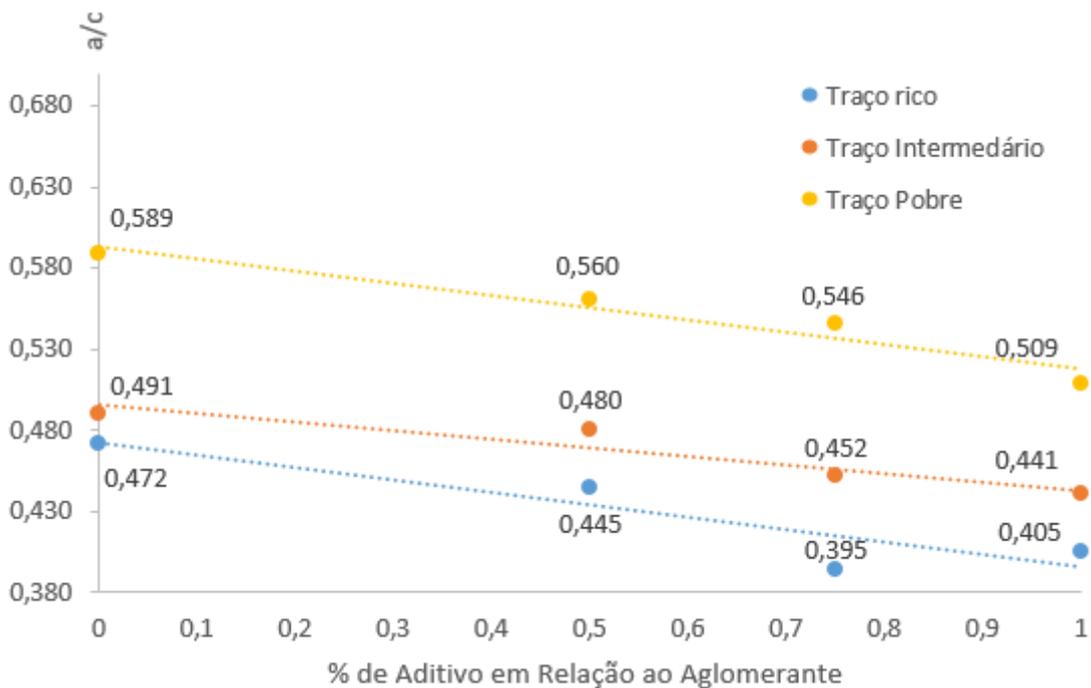
Com o diagrama de dosagem é possível estimar, para qualquer ponto na curva, uma característica como consumo de cimento, relação a/c e resistência, facilitando assim a visualização desses dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do Concreto no Estado Fresco

O primeiro resultado a ser avaliado é a correção da relação a/c, que como mostra o gráfico 03, diminui conforme acrescentamos os diferentes teores de aditivo.

Gráfico 03 – Relações a/c Corrigidas em Cada Traço



Fonte: O próprio autor (2017)

No gráfico é possível observar que em alguns pontos a relação a/c não sofre variação significativa, embora a quantidade de aditivo adicionada é maior que a do ponto anterior. No traço rico por exemplo, enquanto a relação a/c para 1 % de aditivo é de 0,40, no ponto anterior onde a quantidade de aditivo é menor temos uma relação a/c de 0,39. Segundo Neville e Brooks (2013), isso pode ocorrer devido a alguns fatores no momento da mistura, como a temperatura ambiente, o tempo de permanência da mistura na betoneira e a porosidade dos agregados, pois até mesmo os menores poros são maiores que as partículas de cimento, assim pode ocorrer uma maior absorção de água afetando a relação a/c. Embora esses pontos no gráfico 03 possam ter sido influenciados por esses fatores, é possível observar que a linha de tendência aponta uma redução na relação a/c.

Outro dado a ser analisado é a influência do aditivo plastificante redutor de água no consumo de água na mistura. O quadro 07 mostra como o aditivo esse aditivo se comporta nos diferentes traços.

Quadro 07 – Consumo de Água em Cada Traço

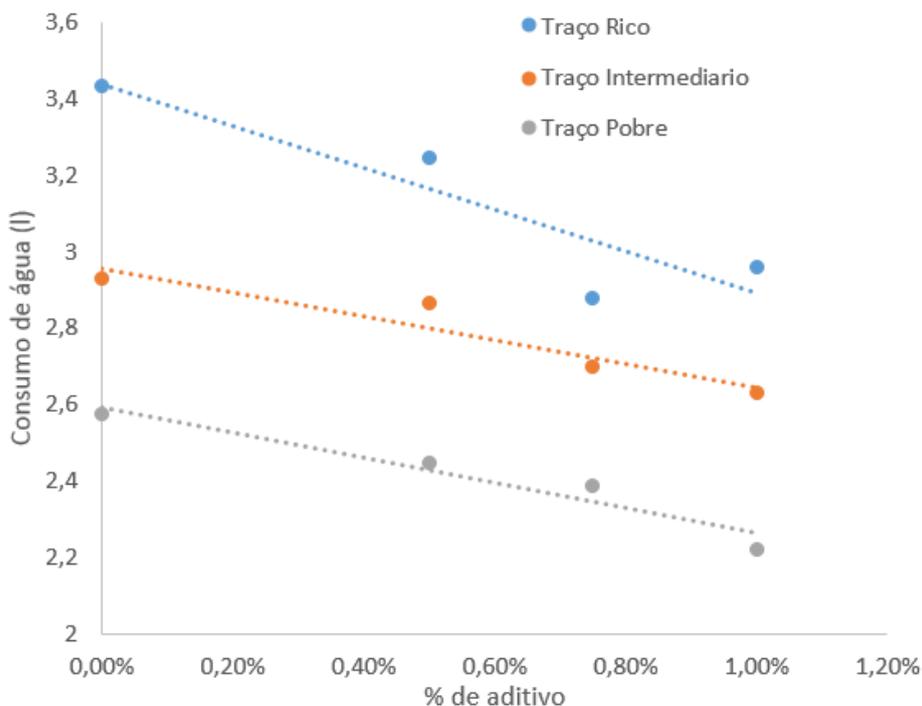
Aditivo	Cons. De Água (l)	% de Redução	Abatimento
Traço Rico			
0,00%	3,431	0%	90 mm
0,50%	3,245	5%	95 mm
0,75%	2,880	16%	110 mm
1,00%	2,960	14%	100 mm
Traço Intermediário			
0,00%	2,930	0	90 mm
0,50%	2,865	2%	95 mm
0,75%	2,700	8%	95 mm
1,00%	2,630	10%	100 mm
Traço Pobre			
0,00%	2,575	0%	90 mm
0,50%	2,447	5%	90 mm
0,75%	2,386	7%	90 mm
1,00%	2,223	14%	90 mm

Fonte: O próprio autor (2017)

O consumo de água assim como a relação a/c apresenta pontos que se observados pela lógica do uso do aditivo plastificante multifuncional redutor de água estão coerentes, uma vez que o fabricante determina uma redução de 5 a 15% no consumo da mesma com o uso deste aditivo. É fato que o resultado do abatimento se enquadra na faixa destinada a esse estudo que é de $100\pm 10\text{mm}$, mostrando que o mesmo com a redução na quantidade de água é possível manter a trabalhabilidade da mistura.

Para Neville e Brooks (2013) a redução real do consumo de água está relacionada, além do uso de aditivo, com a composição química do cimento e o tipo de agregado utilizado. Pode-se constatar ainda que a quantidade de finos presente na mistura também influencia na quantidade de água necessária pois a superfície específica é aumentada. No gráfico 04 podemos observar que alguns pontos podem ter sofrido influência de fatores relacionados ao cimento e agregados utilizados, mas mesmo assim temos uma tendência que indica a diminuição no consumo de água.

Gráfico 04 - Consumo de Água em Cada Traço



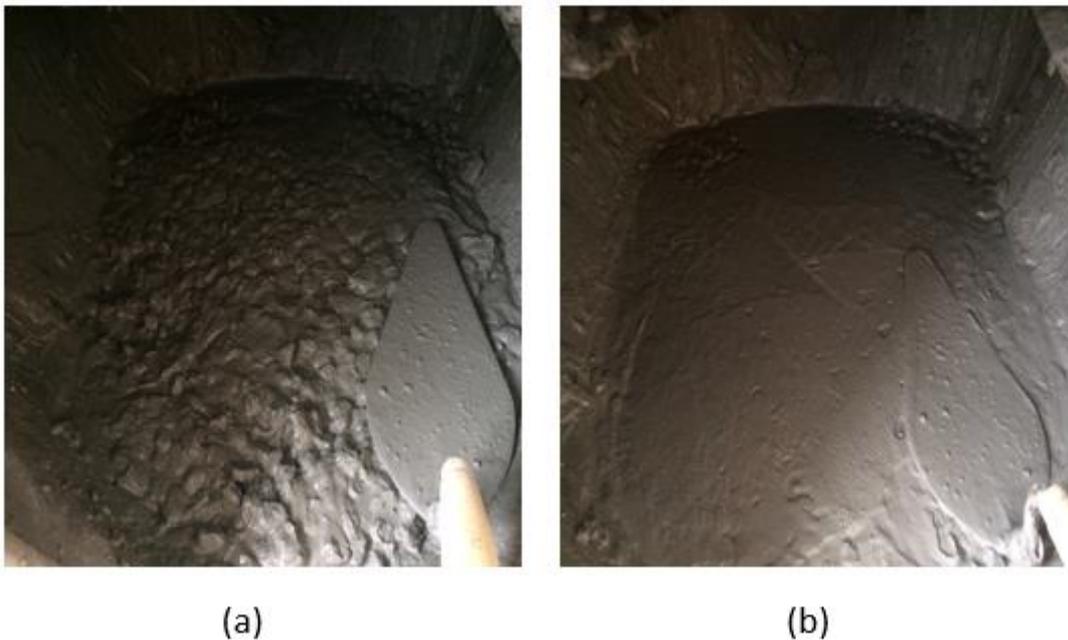
Fonte: O próprio autor (2017)

Recena (2002), comenta ainda que a condição de armazenamento do aditivo e uma correta agitação do recipiente antes de sua utilização, também pode ter

influência significativa na mistura, uma vez que a permanência do aditivo em temperaturas ambiente elevadas por mais tempo ou mesmo o uso do aditivo sem agita-lo pode causar alteração no princípio ativo do mesmo.

O percentual de materiais secos do concreto (teor de argamassa), calculado em função do cimento, areia e brita presente no traço é de 43,50 % inicialmente foi considerado como sendo um teor de argamassa baixo, então foi executado um traço para testar o teor de argamassa. A figura 03 traz o concreto com sua aparência ao desligar a betoneira e mostra a aparência do concreto alisado com a colher de pedreiro, evidenciando que o teor de argamassa está bom para os traços, aceitando então o seu valor.

Figura 03 – Aparência Natural do concreto: (a) Concreto Alisado: (b)



Fonte: O Próprio autor (2017)

O valor de abatimento de tronco de cone obtido através do '*slump test*', para esse traço foi de 95 mm conforme figura 04 que demonstra o procedimento seguido para esse e todos os demais traços.

Figura 04 – Concreto Dentro do Cone: (a) Medida do Abatimento: (b)



(a)

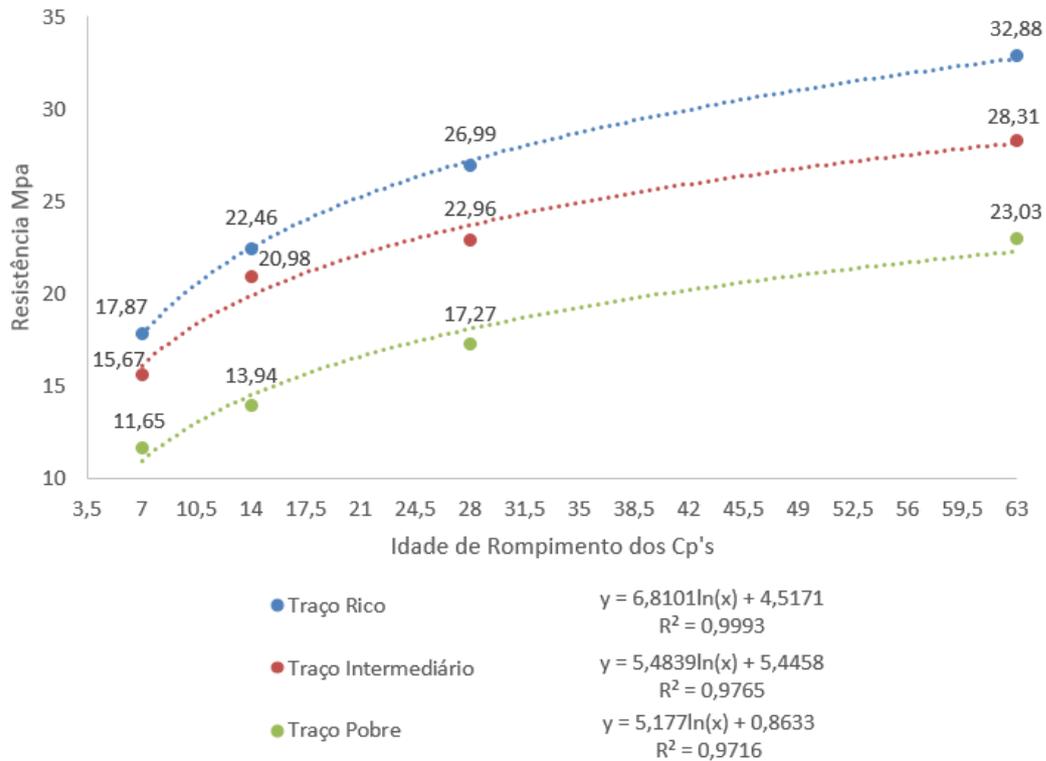
(b)

Fonte: O próprio autor (2017)

4.2 Análise do Concreto no Estado Endurecido

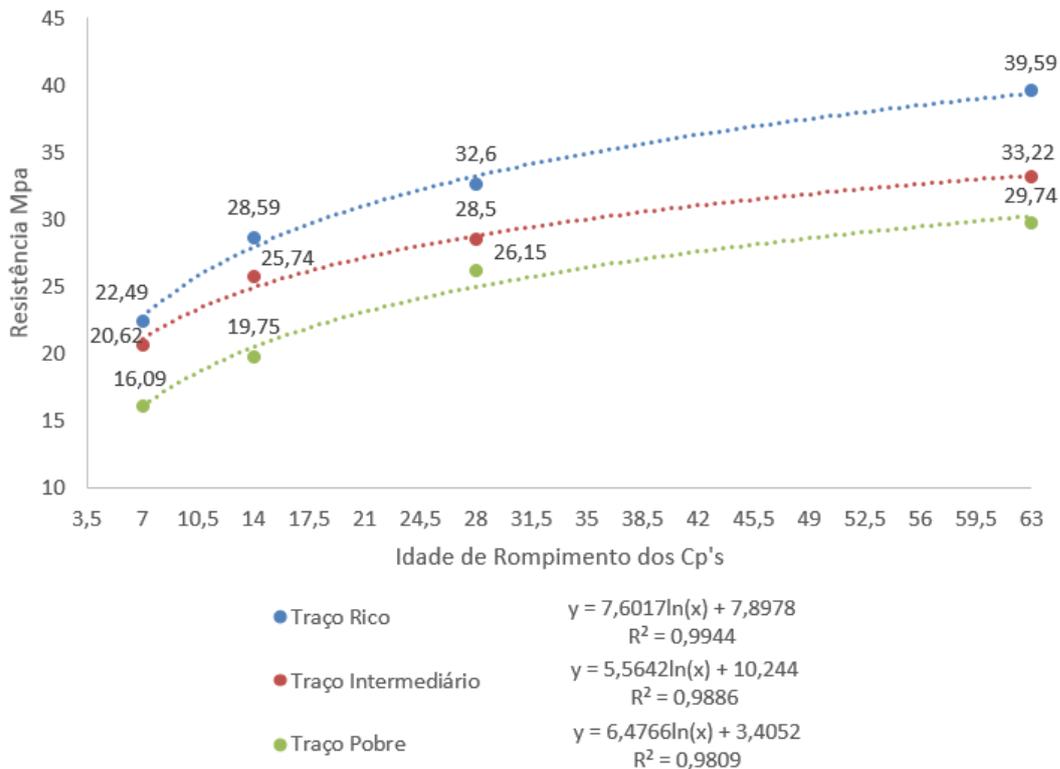
A resistência mecânica do concreto é o fator mais importante a ser analisado nesse estudo, os gráficos 05 à 08 demonstram a variação do concreto com o avanço da idade de ruptura dos Cp's para cada traço.

Gráfico 05 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto no Traço Referência.



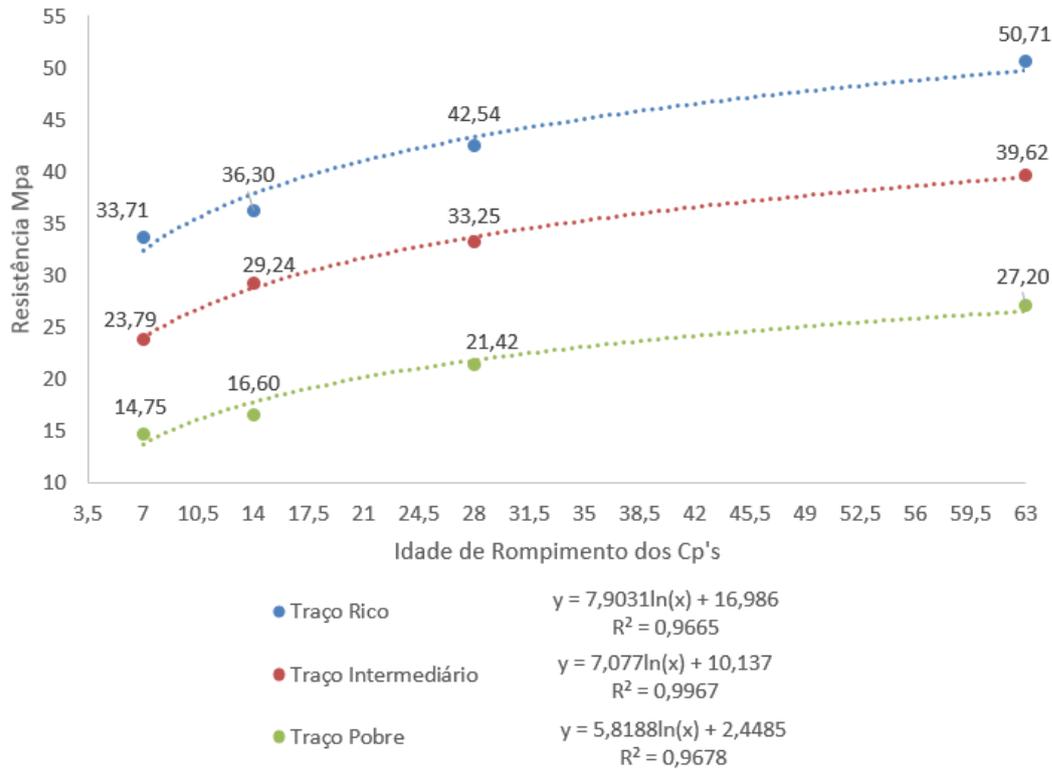
Fonte: O próprio autor (2017)

Gráfico 06 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço 0,50 % de Aditivo.



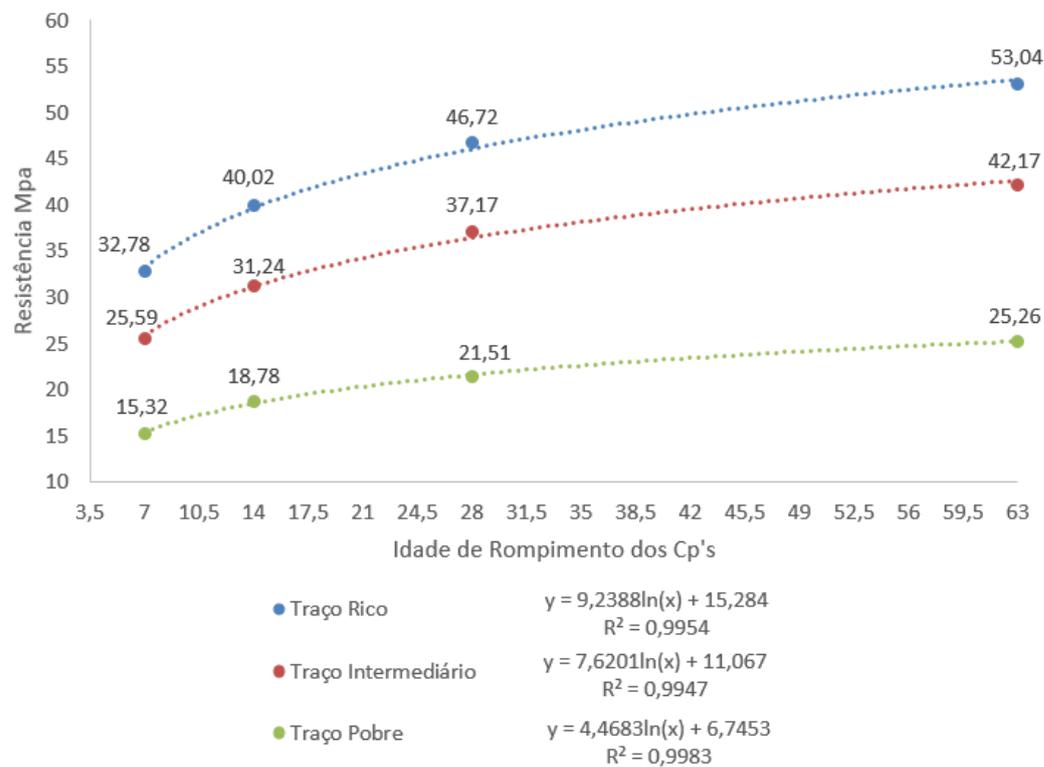
Fonte: O próprio autor (2017)

Gráfico 07 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço 0,75 % de Aditivo.



Fonte: O próprio autor (2017)

Gráfico 08 – Resistência nas Diferentes Idades do Concreto Traço 1,00 % de Aditivo.



Fonte: O próprio autor (2017)

Analisando os dados separadamente é possível observar uma variação ascendente da resistência mecânica, e observamos também um ganho de resistência significativo em cada traço conforme aumentamos a quantidade de aditivo, isso ocorre devido a redução do consumo de água em cada traço, que conseqüentemente reduz também a relação a/c dos mesmos. O quadro 08 traz as porcentagens de ganho de resistência para cada traço em função das quantidades de aditivo utilizadas.

Quadro 08 – Ganho de Resistência em Relação ao Traço Referência.

	Aditivo	Rel. a/c	Cons. Água	Cons. de Cimento	Res. 28 dias (Mpa)	Ganho de Res.	Abatimento (<i>slump</i>)
Rico	0,00%	0,47	214,13 l/m ³	455,60 Kg/m ³	26,99	x	90 mm
	0,50%	0,44	200,46 l/m ³		32,60	20,78%	95 mm
	0,75%	0,39	177,68 l/m ³		42,54	57,61%	110 mm
	1,00%	0,40	182,24 l/m ³		46,72	73,10%	100 mm
Intermediário	0,00%	0,49	182,62 l/m ³	372,70 Kg/m ³	22,96	x	90 mm
	0,50%	0,48	178,89 l/m ³		28,50	24,12%	95 mm
	0,75%	0,45	167,71 l/m ³		33,25	44,81%	95 mm
	1,00%	0,44	163,98 l/m ³		37,17	61,89%	100 mm
Pobre	0,00%	0,59	161,24 l/m ³	273,3 Kg/m ³	17,27	x	90 mm
	0,50%	0,56	153,04 l/m ³		26,15	51,41%	90 mm
	0,75%	0,54	147,58 l/m ³		21,42	24,03%	90 mm
	1,00%	0,50	136,65 l/m ³		21,51	24,55%	90 mm

Fonte: O próprio autor (2017)

O traço pobre, apesar de apresentar uma resistência aos 28 dias maior que a do traço referência quando adicionamos 0,50% de aditivo, nas outras duas adições (0,75% e 1,00%) sua resistência foi diminuindo, mesmo que sua relação a/c também diminuiu. Hartmann (2002 p. 31-32), explica que conforme a relação volumétrica de água e cimento vai diminuindo, para determinadas situações, as reações entre cimento e aditivo podem apresentar resultados inesperados e indesejados.

Para uma análise mais precisa dessa variação as figuras 05 à 08 trazem os diagramas de dosagem, facilitando a compreensão das variações e possibilitando uma análise comparativa desses parâmetros em função das relações a/c obtidas, abatimento (*slump test*) e consumo de cimento. Os quadros de 08 à 11 trazem os principais dados utilizados para compor os diagramas.

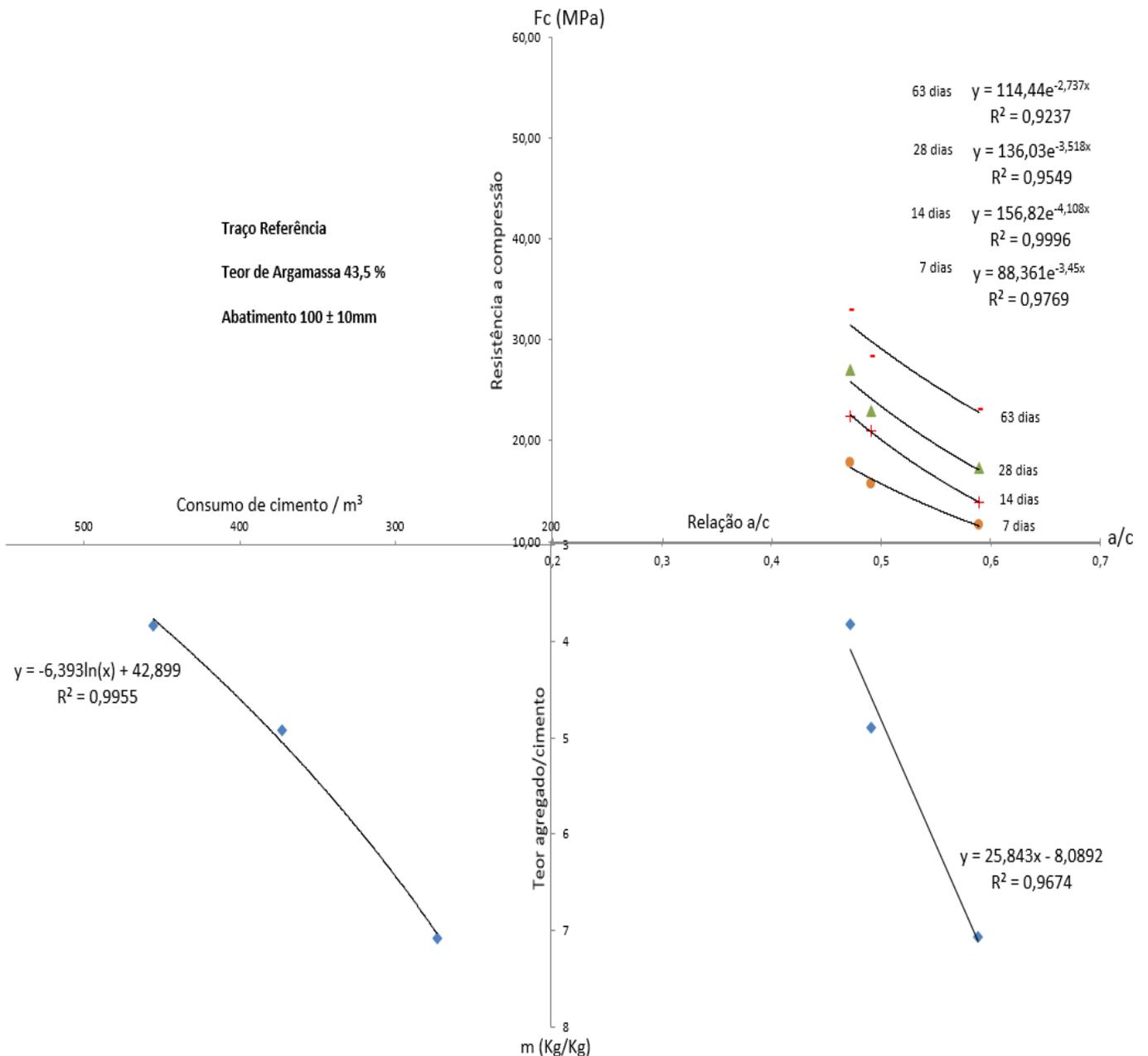
A importância de criar os diagramas de dosagem para os traços analisados se dá uma vez que escolhendo pontos nas curvas apresentadas é possível pré-determinar outros valores de resistência, consumo de cimento, teor de materiais secos e relações a/c para traços que utilizam os mesmos materiais e aditivo plastificante multifuncional redutor de água dentro da faixa de 0,50% à 1,00%, possibilitando assim escolher traços definitivos que melhor se enquadrem nas exigências de projetos.

Quadro 09 – Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem do Traço Referência.

Traço Referência	Traço	Cons. de Cimento	a/c Corrigida	Abatimento	Resistência em Mpa				Teor de Argamassa
					7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	
Traço Referência	Rico	455,6 kg/m ³	0,47	90 mm	17,87	22,46	26,99	32,88	43,50%
	Intrmediário	372,7 kg/m ³	0,49	100 mm	15,67	20,98	22,96	28,31	43,50%
	Pobre	273,3 kg/m ³	0,59	90 mm	11,65	13,94	17,27	23,03	43,50%

Fonte: O próprio autor (2017)

Figura 05 – Diagrama de Dosagem do Traço Referência



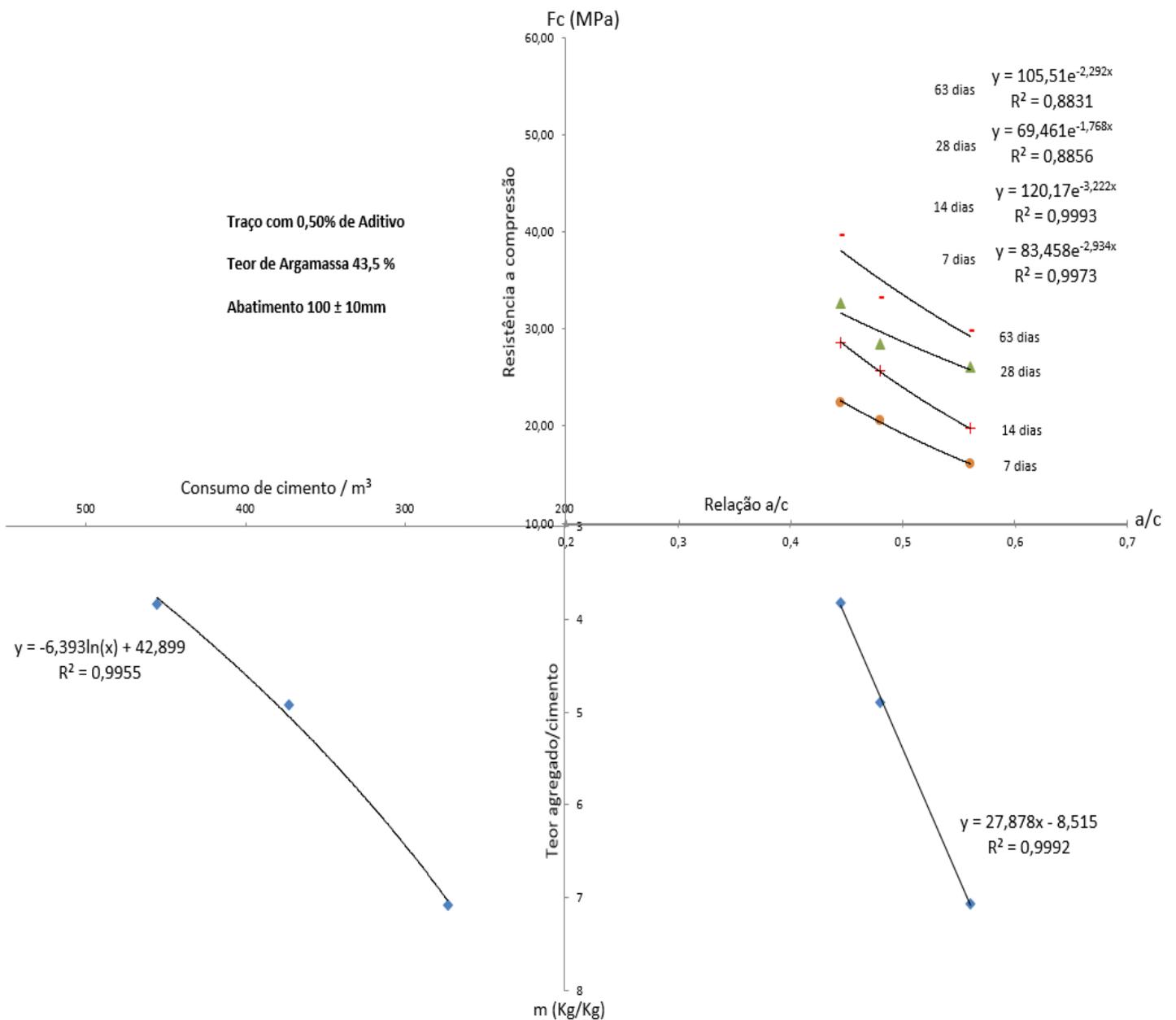
Fonte: O próprio autor (2017)

Quadro 10 – Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem do com 0,50 % de Aditivo.

0,5 % Aditivo	Traço	Cons. de Cimento	a/c Corrigida	Abatimento	Resistência em Mpa				Teor de Argamassa
					7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	
	Rico	455,6 kg/m ³	0,45	95 mm	22,49	28,59	32,60	39,59	43,50%
	Intrmediário	372,7 kg/m ³	0,48	95 mm	20,62	25,74	28,50	33,22	43,50%
	Pobre	273,3 kg/m ³	0,56	90 mm	16,09	19,75	26,15	29,74	43,50%

Fonte: O próprio autor (2017)

Figura 06 – Diagrama de Dosagem do Traço com 0,50% de Aditivo



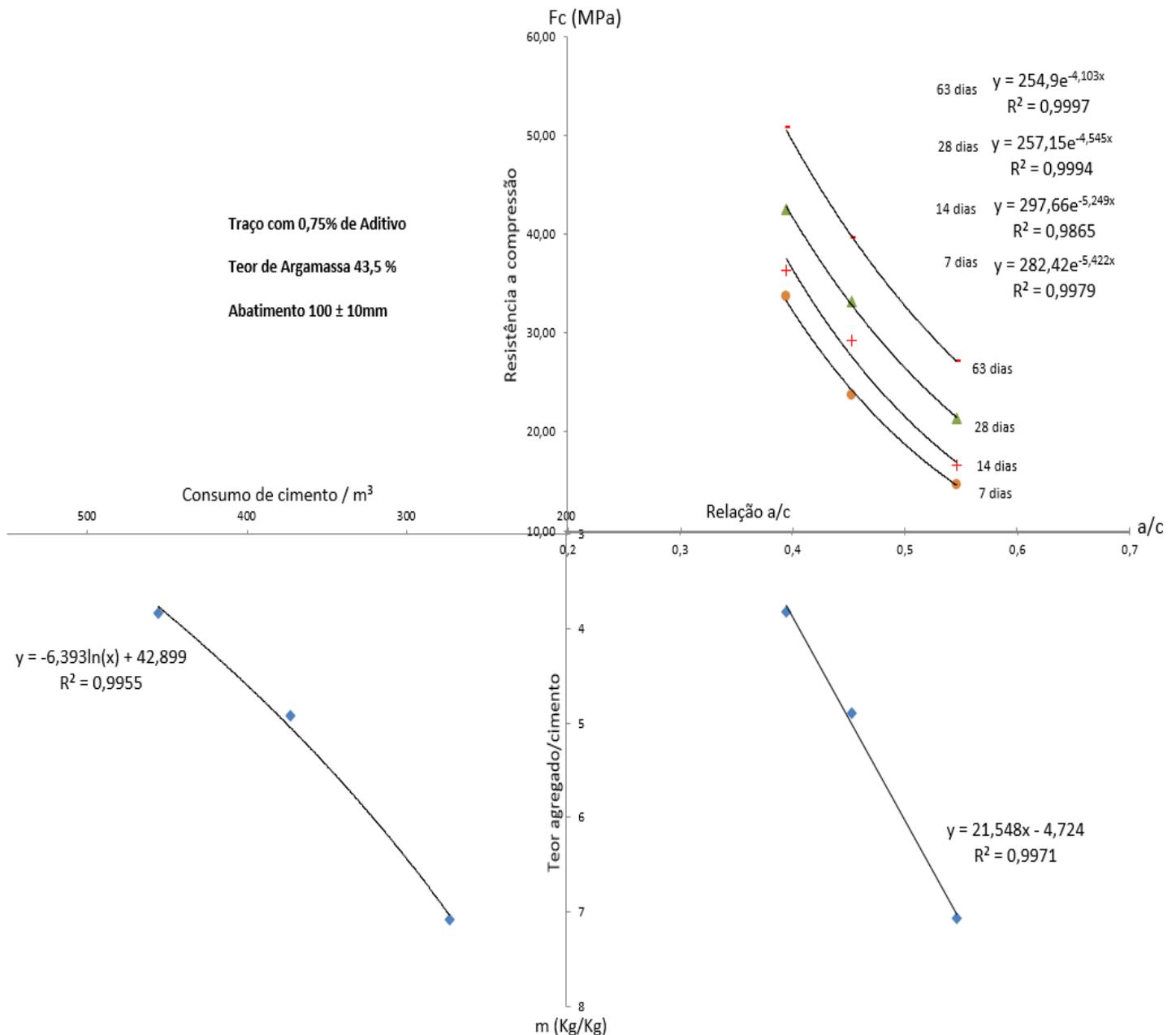
Fonte: O próprio autor (2017)

Quadro 11 – Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem do com 0,75 % de Aditivo.

0,75% Aditivo	Traço	Cons. de Cimento	a/c Corrigida	Abatimento	Resistência em Mpa				Teor de Argamassa
					7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	
	Rico	455,6 kg/m ³	0,40	110 mm	33,71	36,30	42,54	50,71	43,50%
	Intrmediário	372,7 kg/m ³	0,45	95 mm	23,79	29,24	33,25	39,62	43,50%
	Pobre	273,3 kg/m ³	0,54	90 mm	14,75	16,60	21,42	27,20	43,50%

Fonte: O próprio autor (2017)

Figura 07 – Diagrama de Dosagem do Traço com 0,75% de Aditivo



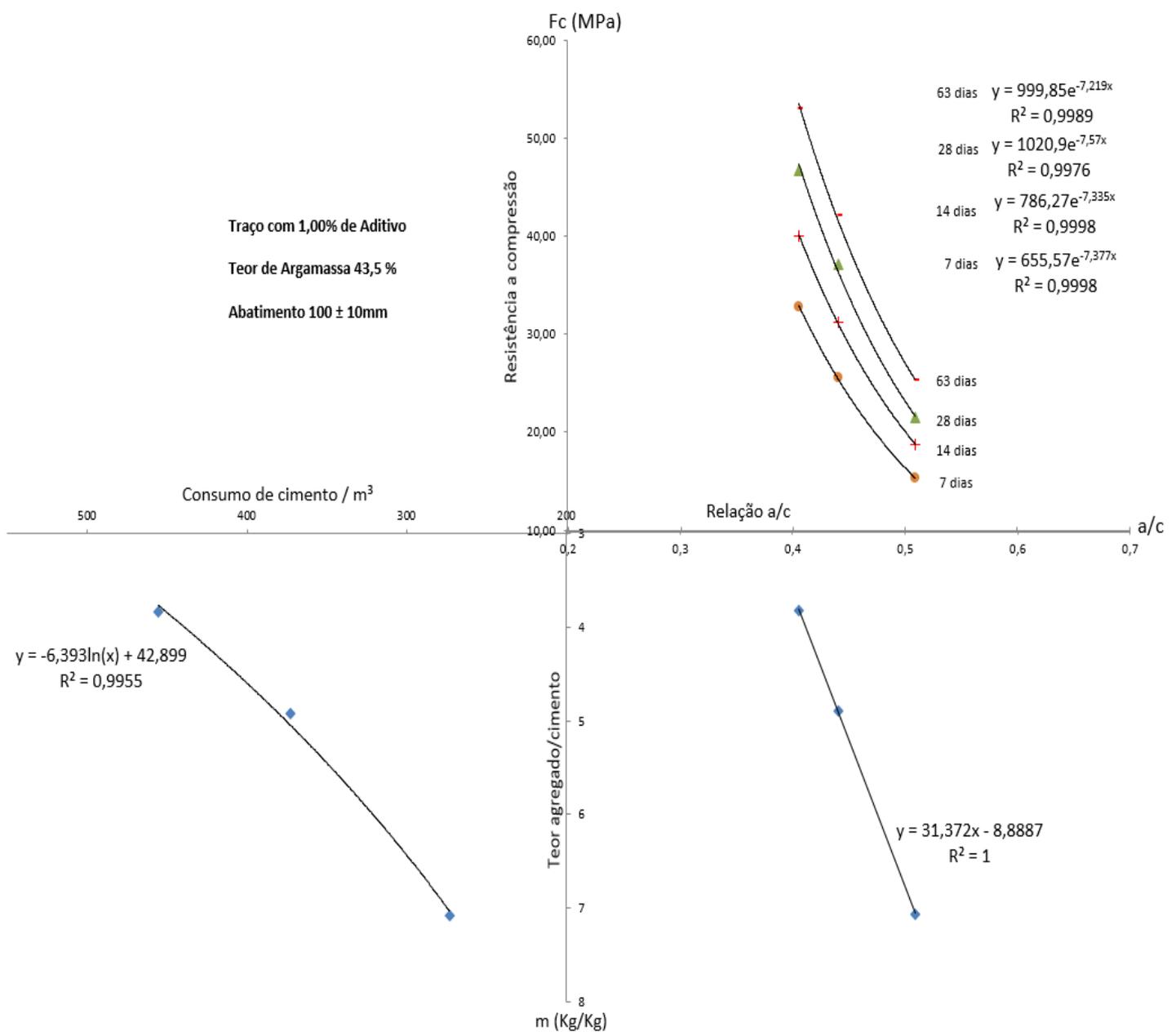
Fonte: O próprio autor (2017)

Quadro 12– Dados Utilizados No Diagrama de Dosagem do com 1,00 % de Aditivo.

0,75% Aditivo	Traço	Cons. de Cimento	a/c Corrigida	Abatimento	Resistência em Mpa				Teor de Argamassa
					7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	
	Rico	455,6 kg/m ³	0,40	110 mm	33,71	36,30	42,54	50,71	43,50%
	Intrmediário	372,7 kg/m ³	0,45	95 mm	23,79	29,24	33,25	39,62	43,50%
	Pobre	273,3 kg/m ³	0,54	90 mm	14,75	16,60	21,42	27,20	43,50%

Fonte: O próprio autor (2017)

Figura 08 – Diagrama de Dosagem do Traço com 1,00% de Aditivo



Fonte: O próprio autor (2017)

5 CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados obtidos e descritos no capítulo anterior se fez possível chegar as conclusões descritas a seguir.

5.1 Propriedades do Concreto no Estado fresco

O uso de aditivo plastificante multifuncional redutor de água na dosagem do concreto conferiu uma manutenção na consistência da pasta com um menor consumo de água, dentro do esperado para o uso deste tipo de aditivo, que, conforme a indicação do fabricante, deve conferir uma redução de 5% à 15% no consumo de água, dependendo da quantidade de aditivo utilizada no processo de dosagem e respeitando os limites estabelecidos pelo fabricante. Com o estudo foi possível verificar que esse comportamento de fato existe, e que o aditivo utilizado atende aos critérios estabelecidos pelo fabricante.

Um exemplo claro para explicar a eficiência do aditivo é que no traço rico, onde a quantidade de água necessária para a reação com o aglomerante é a maior dentre os traços, temos que o consumo de água inicial do traço referência (sem uso de aditivo) foi de 214,13 l/m³, e com esse valor obtivemos um “*slump*” de 90mm, e com a mesma quantidade de materiais adicionados a betoneira porém com o uso de 1,00% de aditivo, o consumo de água foi de 184,52 l/m³, indicando uma redução de aproximadamente 14% no consumo de água em relação ao traço referência, e para esse traço o “*slump*” foi de 100mm.

5.2 Propriedades do Concreto no Estado Endurecido

Conforme esperado houve um significativo ganho de resistência mecânica em função da redução no consumo de água causado pelo uso do aditivo nos traços rico e intermediário, uma vez que as relações a/c também diminuíram.

O Traço pobre foi o que sofreu uma variação indesejada, evidenciando que para esse traço, quantidades de aditivo superiores a 0,50%, não são consideradas viáveis para se obter uma resistência mecânica maior. Considerando que a quantidade de água utilizada no traço pobre é a menor entre os traços, e que isso afeta a interação entre o cimento e o aditivo, é possível admitir que a causa dessa redução na resistência mecânica, para 0,75% e 1,00% de aditivo, no traço pobre se deu em decorrência da baixa quantidade de água presente no traço para reagir com essas quantidades superiores de aditivo.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

O uso de aditivos em concreto é um assunto de extrema importância para a construção civil, assim sendo, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Testar outras quantidades deste aditivo em outras variações de traços;
- Verificar a influência deste aditivo no custo do concreto;
- Testar os resultados obtidos nos diagramas de dosagem em laboratório;
- Testar outros tipos de cimento na mistura.

6 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2012. 28p. (BT-106).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578**. Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11768**. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5732**. Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5735**. Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5736**. Cimento Portland pozolanico – Especificações. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**. Agregados para Concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**. Cimento Portland: Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7217**. Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9935**. Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 23**. Cimento Portland e outros Materiais em Pó - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45**. Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52**. Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 53**. Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**. Ensaio de Abatimento de Concreto – *Slump Test*. Rio de Janeiro, 1998.

BASILIO, Eduardo Santos. **Considerações gerais sobre a dosagem do concreto**. In: Colóquio sobre dosagem de concreto. – Considerações gerais sobre a dosagem do concreto. Maio de 1977, São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 1977.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Vol.1. 5ª Edição revisada. 2000 LTC Editora S.A.

BOGGIO, Aldo J. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, Porto Alegre. Dezembro 2000.

FERREIRA, Ricardo. **Sídes Regressão Linear Simples Método Mínimos Quadrados**, disponível em: [http://professor.Pucgoias.edu.br/Site Docente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_maco2_12_equacoes-abrams-lyse-molinari.pdf](http://professor.Pucgoias.edu.br/Site%20Docente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_maco2_12_equacoes-abrams-lyse-molinari.pdf). Acesso: 15/05/2017.

GIAMMUSSO, Salvador E. **Manual do Concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 1992.

HAGEMANN, S.E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos**. [S.l.]: Universidade Aberta do Brasil, 2011. 145 p. v. 2.

HARTMANN, Carine et al. **Aditivos químicos para concretos e cimentos**. In: CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Ed. G. C. ISAIA. –São Paulo: IBRACON. 2002. vol 1.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 1ª edição. Brasília: SENAI, 1993.

IBI, Instituto Brasileiro de Impermeabilização. **Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central**. [S.l.: s.n.], 2015. 32 p. v. 1.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.

MASCOLO, R. **Concreto Usinado: Análise da variabilidade da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo do caminhão betoneira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedade e materiais**. 2. Ed. São Paulo. IBRACON, 2014.

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

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo. Globo, 1998.

RECENA, F. A. P. **Método de dosagem de concreto pelo volume de pasta com emprego de cinza volante**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia) –Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. ET-67. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON - Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 1998.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Dosagem Experimental dos Concretos**. 3ª Ed. São Paulo: IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, 1980.

TANGO, C. E. S. Produção, **Transporte e Controle do Concreto**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, por ISAIA, G. C. São Paulo: IBRACON; SmartSystem Consulting Ltda., 2005.

TARTUCE, Ronaldo; GIOVANNETTI, Edio. **Principios Basicos Sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: IBRACON, 1990. 107 p.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca **Método para dosagem de concreto auto adensáveis**. – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004.

TUTIKIAN, Bernardo; HELENE, Paulo. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2012.

UNB, Universidade de Brasília, 2014. **Diagrama de Dosagem Convencional**, Disponível em: <http://www.construcaocivil.info/diagrama-de-dosagem-de-concreto-convencional-utilizando-o-metodo-de-helene-terzian-1992/> Acesso: 05/06/2017.