

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES  
REOLÓGICAS E MECÂNICAS DOS CONCRETOS  
PRODUZIDOS COM DIFERENTES ADITIVOS  
REDUTORES DE ÁGUA**

**Marcio Eurelio de Paiva Oliveira**

**Belo Horizonte**

**2016**

**Marcio Eurelio de Paiva Oliveira**

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES  
REOLÓGICAS E MECÂNICAS DOS CONCRETOS  
PRODUZIDOS COM DIFERENTES ADITIVOS  
REDUTORES DE ÁGUA**

Dissertação a ser apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Materiais Cimentícios

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Guerra Gumieri

Co-orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Polisseni

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2016

MARCIO EURELIO DE PAIVA OLIVEIRA

**" ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E  
MECÂNICAS DOS CONCRETOS PRODUZIDOS COM DIFERENTES  
ADITIVOS REDUTORES DE ÁGUA "**

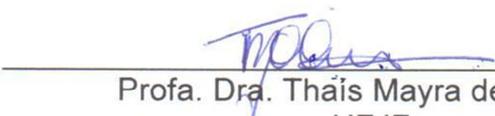
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

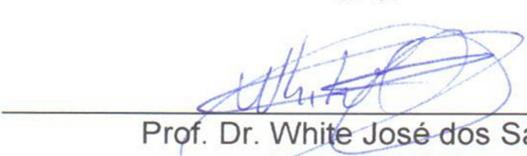
Belo Horizonte, 17 de junho de 2016

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Adriana Guerra Gumieri  
Orientadora - UFMG/DEMC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antônio Eduardo Polisseni  
Coorientador - UFJF

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Thaís Mayra de Oliveira  
UFJF

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. White José dos Santos  
UFMG/DEMC

O48e	<p>Oliveira, Marcio Eurelio de Paiva. Estudo comparativo das propriedades reológicas e mecânicas dos concretos produzidos com diferentes aditivos redutores de água [manuscrito] / Marcio Eurelio de Paiva Oliveira. - 2016. 89 f., enc.: il.</p> <p>Orientadora: Adriana Guerra Gumieri. Coorientador: Antônio Eduardo Polisseni.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Inclui anexos.</p> <p>Bibliografia: f: 73-76.</p> <p>1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses. 3. Concreto - Teses. 4. Cimento - Aditivos - Teses. I. Gumieri, Adriana Guerra, II. Polisseni, Antônio Eduardo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 691 (043)</p>
------	---

À Deus,  
à minha família,  
ao Sr. Nascimento  
e à Professora Adriana Gumieri

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desta pesquisa e que me fizeram aprender o quanto a generosidade das pessoas pode fazer todo o nosso sacrifício parecer mais brando e nosso fardo parecer mais leve.

A Deus por me dar saúde e força para superar a cada dia as demandas e também por me dar a oportunidade de trabalhar.

À minha família por me dar a tranquilidade e motivo para lutar.

Ao Amigo Sr. Luiz do Nascimento por me mostrar os primeiros passos dentro de um laboratório de materiais de construção.

Ao amigo Valdemar que me incentivou a pesquisar.

À Empresa Aditibrás, na figura do amigo Marcus Vinícius e toda sua equipe de profissionais, que doou todos os materiais utilizados nesta pesquisa e cedeu seu laboratório e o tempo precioso de seus profissionais.

À Profa. Dra. Adriana Guerra Gumieri por ter tido tanta dedicação durante sua orientação, pelos ensinamentos que me amadureceram como profissional e com ser humano.

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Polisseni por ter sido meu professor desde 1996 quando ingressei na UFJF até hoje, ao longo de 20 anos e por ter contribuído tanto para esta pesquisa.

E a todos aqueles que também contribuíram e que por ventura não foram aqui citados.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE EQUAÇÕES.....	11
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	12
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivos .....	17
1.2 Justificativa .....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1 Cimento <i>Portland</i> .....	19
2.2 Aditivos químicos para concreto .....	21
2.2.1 <i>Aditivos redutores de água, plastificantes e superplastificantes</i> ..	23
2.3 Durabilidade do concreto .....	27
2.3.1 <i>Volume de vazios capilares</i> .....	27
2.3.2 <i>Ar incorporado</i> .....	28
2.3.3 <i>Descrição qualitativa de um sólido poroso</i> .....	29
2.4 Avaliação da qualidade através de Ensaio de Absorção e Permeabilidade .....	30
2.5 Módulo de elasticidade .....	30
2.5.1 <i>Não linearidade da curva tensão x deformação do Concreto</i> .....	31
2.5.2 <i>Tipos de módulos de elasticidade</i> .....	34
2.5.2.1 <i>Módulo estático</i> .....	34
2.5.2.2 <i>Módulo dinâmico</i> .....	35

2.5.3 Fatores que influenciam o módulo de elasticidade .....	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	37
3.1 Materiais .....	37
3.1.1 Cimento .....	37
3.1.2 Agregado miúdo .....	37
3.1.3 Agregado graúdo.....	38
3.1.4 Água .....	38
3.1.5 Aditivos químicos .....	38
3.2 Métodos .....	39
3.2.1 Caracterização dos agregados envolvidos nos experimentos. ...	39
3.2.2 Definição do teor ideal de aditivo com o mini-cone de Kantro ....	40
3.2.3 Dosagem dos concretos .....	41
3.2.4 Ensaio de perda de abatimento .....	45
3.2.5 Teor de ar pelo método pressométrico .....	46
3.2.6 Ensaio de Início e fim de pega.....	48
3.2.7 Ensaio de compressão axial .....	48
3.2.8 Resistência à tração na flexão.....	49
3.2.9 Ensaio de módulo estático de elasticidade ( $E_{ci}$ ) .....	49
3.2.10 Ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica .....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	54
4.1 Caracterização dos agregados .....	54
4.2 Definição da dosagem para cada aditivo químico .....	56
4.3 Dosagem dos concretos .....	58
4.4 Perda de abatimento dos concretos .....	58
4.5 Teor de ar incorporado .....	59

4.6 Início e fim de pega .....	60
4.7 Resistência à compressão axial .....	60
4.7.1 Avaliação das resistências à compressão pelo uso das linhas de tendências.....	61
4.8 Resistência à tração na flexão .....	64
4.9 Módulo estático de elasticidade ( $E_{ci}$ ) .....	65
4.10 Absorção, índice de vazios e massa específica .....	65
4.11 Avaliação dos resultados obtidos para os concretos com relação $a/c =$ 0,5.....	66
5 CONCLUSÕES .....	70
6 SUGESTÕES PARA NOVOS ESTUDOS .....	72
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73
ANEXOS.....	77
Anexo A – Resultado do Módulo de Elasticidade – Concreto com $a/c =$ 0,50 e aditivo Adi-poli 121.....	77
Anexo B – Anexo B – Resultado do Módulo de Elasticidade – Concreto com $a/c = 0,50$ e aditivo Adi-mix 300.....	80
Anexo C – Resultado do Módulo de Elasticidade – Concreto com $a/c = 0,50$ e aditivo Adi-super H35 .....	83
Anexo D – Ficha técnica do aditivo AP121 .....	86
Anexo E – Ficha técnica do aditivo AM300 .....	87
Anexo F – Ficha técnica do aditivo ASH35 .....	88

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Influência da quantidade de $C_3A$ do cimento na trabalhabilidade de argamassas .....	23
Figura 2.2 – Mecanismo de ação dos aditivos redutores de água plastificantes .	25
Figura 2.3 – Representação da molécula do policarboxilato.....	26
Figura 2.4 – Mecanismo de ação dos aditivos redutores de água superplastificantes .....	26
Figura 2.5 – Corte transversal esquemático de um sólido poroso .....	30
Figura 2.6 – Comportamentos típicos de tensão-deformação de agregado, concreto e pasta de cimento .....	32
Figura 2.7 – Representação do comportamento do concreto submetido à compressão uniaxial .....	33
Figura 3.1 – Aditivos químicos Adi-Poli 121 (AP 121), Adi-Poli Mix 300 (AM 300) e Adi-Super H35 (H35).....	38
Figura 3.2 – Croqui do molde do mini-cone de Kantro .....	41
Figura 3.3 – Inclusão do aditivo na mistura.....	42
Figura 3.4 – Controle de temperatura ambiente e umidade relativa do ar no laboratório.....	42
Figura 3.5 – Ensaio de consistência (a) e medida do abatimento do tronco de cone de Abrams (b) para o concreto a relação $a/c = 0,5$ .....	43
Figura 3.6 – Corpos de prova de concreto prismáticos e cilíndricos .....	44
Figura 3.7 – Ensaio de perda de abatimento para o concreto com aditivo ASH35 ( $a/c = 0,5$ ) .....	45
Figura 3.8 – Abatimento inicial do concreto com aditivo AM300 ( $a/c = 0,5$ ) .....	46

Figura 3.9 – Ensaio de ar incorporado (a) e medida do teor de ar incorporado par o concreto com relação a/c = 0,5 e aditivos ASH35 (b) e AM 300 (c) .....	47
Figura 3.10 – Ensaio de início e fim de pega do concreto com aditivo AM300 (a/c = 0,5) .....	48
Figura 3.11 – Ensaio de compressão axial dos concretos .....	49
Figura 3.12 – Ciclo de tensão para determinação do módulo de elasticidade ....	50
Figura 3.13 – Prensa hidráulica utilizada no ensaio de módulo de elasticidade ..	51
Figura 3.14 – Interface do programa <i>TestMod</i> do DINATEST .....	53
Figura 4.1 – Pastas com vários percentuais de aditivo químico para estudo de dosagem .....	57
Figura 4.2 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 3 dias ..	61
Figura 4.3 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 7 dias ..	62
Figura 4.4 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 28 dias.	62
Figura 4.5 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 63 dias.	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Abreviações próprias para óxidos e compostos do cimento <i>Portland</i> .....	20
Tabela 2.2 – Tipos de cimento <i>Portland</i> normatizados no Brasil .....	21
Tabela 3.1 – Características do cimento CP III – 40 RS .....	37
Tabela 4.1 – Caracterização do agregado miúdo (areia) .....	54
Tabela 4.2 – Composição granulométrica do agregado miúdo (areia) .....	54
Tabela 4.3 – Caracterização do agregado graúdo (brita zero).....	55
Tabela 4.4 – Caracterização do agregado graúdo (brita 1).....	55
Tabela 4.5 – Composição granulométrica do agregado graúdo (brita zero) .....	55
Tabela 4.6 – Composição granulométrica do agregado graúdo (brita 1) .....	56
Tabela 4.7 – Tabela 4.7 – Abertura, em mm, por dosagem percentual de cada aditivo obtida pelo método do Cone de Kantro .....	57
Tabela 4.8 – Dosagens adotadas para cada aditivo .....	57
Tabela 4.9 – Dosagens dos concretos e consumo dos materiais por m <sup>3</sup> de concreto.....	58
Tabela 4.10 – Perda de abatimento para cada aditivo .....	58
Tabela 4.11 – Teor de ar incorporado para cada aditivo .....	59
Tabela 4.12 – Tempos de início e fim de pega para cada aditivo .....	60
Tabela 4.13 – Resistência à compressão axial dos concretos .....	60
Tabela 4.14 – Resistências à tração na flexão com idade de 28 dias .....	64
Tabela 4.15 – Módulos de elasticidade dos concretos com idade de 28 dias .....	65
Tabela 4.16 – Absorção, índice de vazios e massa específica dos concretos com idade de 28 dias .....	66
Tabela 4.17 – Resultados dos ensaios laboratoriais para a relação a/c = 0,50 ...	67

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Teor de ar incorporado .....	28
Equação 2 – Relação tensão x deformação .....	31
Equação 3 – Determinação do módulo de elasticidade .....	52

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACI – *American Concrete Institute*  
a/c – Relação água / cimento  
AGN – Agregados graúdos naturais  
AM300 – Aditivo químico Adi-Poli Mix 300 para concreto  
AP121 – Aditivo químico Adi-Poli 121 para concreto  
ARI – Alta resistência inicial  
ASH35 – Aditivo químico Adi-Super H35 para concreto  
CAD – Concreto de alto desempenho  
CSN – CSN Cimentos S.A.  
C-S-H – Silicato de Cálcio Hidratado  
CP – Corpo de prova  
C<sub>3</sub>A – Óxido de Alumínio  
CaO – Óxido de cálcio  
CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O – Gipsita  
CO<sub>2</sub> – Gás carbônico  
C<sub>2</sub>S – Belita  
C<sub>3</sub>S - Alita  
C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub>– Aluminato hidratado  
DEMC – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção  
DMC – Dimensão máxima característica dos agregados graúdos  
EPI – Equipamento de proteção individual  
f<sub>ck</sub> – Resistência característica do concreto  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>– Óxido de ferro  
GPa – Giga Pascal  
MPa – Mega Pascal  
NBR NM – Norma Brasileira, Norma Mercosul  
NBR – Norma Brasileira Registrada  
nm – nanômetros

PCE – Aditivos à base de polímeros chamados policarboxilato-poliéteres ou éteres policarboxílicos

*Slump* – Abatimento do tronco de cone

SiO<sub>2</sub>– Óxido de silício

t – tonelada

tf – tonelada força – 1 tf = 1000 kg.f

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

°C – Graus Célsius

µm – micrômetros

2CaO.SiO<sub>2</sub> – Silicatos dicálcico

3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Aluminato tricálcico

3CaO.SiO<sub>2</sub> – Silicatos tricálcico

4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Ferroaluminato tetracálcico

δ – Tensão aplicada no material

ε – Deformação específica do material

E – Módulo de elasticidade do material

## RESUMO

O concreto é um dos materiais mais vendidos no mundo, sendo que a produção em Empresas de Concreto deverá chegar a 72,3 milhões de m<sup>3</sup> em 2017, e seus componentes são obtidos de fontes não renováveis como os agregados, o cimento e a água. A redução do consumo de água e de cimento por m<sup>3</sup> de concreto é extremamente importante do ponto de vista do custo unitário de produção e também do ponto de vista da sustentabilidade, visando a redução do consumo de matérias primas, a geração de impactos ambientais e também a produção de concretos mais duráveis. Novas tecnologias e o desenvolvimento da indústria química de aditivos vêm reduzindo muito o consumo de água e, conseqüentemente, o consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto com a mesma relação água / cimento. O uso dos aditivos à base de policarboxilato pode reduzir em até 40% do consumo de água nas dosagens de concreto quando comparados àqueles sem nenhum aditivo. O objetivo desta pesquisa é comparar as propriedades reológicas e mecânicas de três tipos de concreto com a mesma relação água / cimento contendo três tipos de aditivos químicos redutores de água mais utilizados no mercado (à base de lignosulfonato, de base mista e à base de policarboxilato). Foram estudados os parâmetros reológicos como a manutenção da trabalhabilidade medida pelo abatimento do tronco de cone de Abrams, o teor de ar incorporado e os tempos de início e fim de pega, além das propriedades mecânicas como a resistência à compressão axial, a resistência à tração na flexão e o módulo de elasticidade. Também foram avaliadas as propriedades físicas: absorção de água, índice de vazios e massa específica dos concretos. Observou-se que a resistência à compressão axial diminuiu à medida que os consumos de água e de cimento por m<sup>3</sup> foram reduzidos para concretos com a mesma relação água / cimento. O módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão dos concretos melhoraram com a presença do policarboxilato no aditivo. A absorção e o índice de vazios também diminuíram nos concretos com aditivos à base de policarboxilato, tornando-os mais duráveis, já que a redução dessas propriedades dificulta a migração de agentes agressivos tais como cloretos e a carbonatação.

Palavras chave: aditivo, cimento, durabilidade, consumo, policarboxilato.

## ABSTRACT

Concrete is one of the materials sold worldwide, and the production of concrete companies is expected to reach 72.3 million m<sup>3</sup> in 2017, and its components are obtained from non-renewable sources such as aggregates, cement and water. Reducing the consumption of water and cement per cubic meter of concrete is extremely important from the point of view of the unit cost of production and also from the point of view of sustainability, aimed at reducing the consumption of raw materials, the generation of environmental impacts and also the production of more durable concrete. New technologies and the development of chemical additives have greatly reducing water consumption and consequently the consumption of cement per cubic meter of concrete with the same water / cement ratio. The use of polycarboxylate-based additives can reduce up to 40% of water consumption in concrete dosages when compared to those without any additive. The objective of this research is to compare the rheological and mechanical properties of three types of concrete with the same water / cement ratio containing three types of reducing chemical additives more water used in the market (based on lignosulphonate, mixed base and the base of polycarboxylate ). rheological parameters such as retention of workability as measured by the Abrams cone trunk rebate were studied, the entrained air content, and the start and end times handle, in addition to mechanical properties such as compressive strength, tensile strength in bending and modulus of elasticity. Also the physical properties were evaluated: water absorption, voids and density of the concrete. It was observed that the compressive strength decreased as the consumption of water and cement per cubic meter were reduced to concrete with the same water / cement ratio. The modulus of elasticity and tensile strength in bending of the polycarboxylate concrete improved with the presence of the additive. The absorption and void ratio also decreased in the concrete with the polycarboxylate additives, making them more durable, since these properties reduce hinders the migration of aggressive substances such as chlorides and carbonation.

Keywords: additive, cement, durability, consumption, polycarboxylate.

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais essenciais de nossa civilização e um dos produtos mais vendidos no mundo. Com uma seleção correta de seus componentes suas características podem ser profundamente alteradas. Para isto, a indústria química moderna tem disponibilizado uma ampla série de aditivos para a indústria de concreto que tornou-se capaz, além de melhorar as características de seu produto, reduzir o consumo de cimento por m<sup>3</sup> e aumentar os rendimentos de sua produção (MARTIN, 2005).

No estudo de dosagem de concretos deve-se considerar cada vez mais os aspectos de durabilidade dos mesmos. Na indústria da construção civil, prevalecem em todo mundo critérios básicos para garantir a durabilidade do concreto, resistência à compressão axial ( $f_c$ ) mínima, a relação água-cimento (a/c) máxima e o consumo mínimo de cimento. Conforme Wassermann *et al.* (2009), estes são os resultados de práticas e experiências anteriores. Salienta-se que no passado não havia aditivos químicos disponíveis para concretos que melhorassem a trabalhabilidade e permitissem um novo olhar sobre estes conceitos.

Do ponto de vista econômico, os consumos elevados de cimento causam o aumento do custo de produção e, do ponto de vista técnico, aumentam o volume de pasta na mistura, que potencializa a fissuração por retração, seus efeitos térmicos e também as reações álcalis-agregados (BEUSHAUSEN e ANGELUCCI, 2014; WASSERMANN *et al.*, 2009).

O consumo de cimento das dosagens de concreto deveria ser reduzido em todo o mundo, porém este conceito está se difundindo lentamente devido à opinião, geralmente predominante, de muitos especialistas de que um teor mais elevado de cimento nas misturas é uma garantia de maior durabilidade (BEUSHAUSEN e ANGELUCCI, 2014).

Uma forma eficiente para produzir concretos mais duráveis é reduzir o teor de agente aglutinante das misturas e o consumo de água das misturas para uma mesma relação a/c, tornando-os menos porosos, e conseqüentemente, menos permeáveis à água (KOLIAS e GEORGIU, 2005). Quanto menos permeável à água for um concreto, menor será a migração de cloretos e a carbonatação.

Dentro desta perspectiva, os aditivos químicos para concreto redutores de água, à base de policarboxilatos, considerados superplastificantes Tipo II (NBR 1768 (ABNT, 2011)), são os redutores de água mais eficientes na atualidade, chegando a reduzir até 40% do consumo de água de amassamento por metro cúbico de concreto quando comparados ao concreto de referência sem nenhum aditivo.

Estes aditivos superplastificantes à base de policarboxilatos estão ganhando força no mercado brasileiro da construção civil devido às melhorias nas características dos concretos e por causa do melhor custo-benefício quando avaliado o custo final de produção do metro cúbico do concreto e não apenas o custo unitário do aditivo (MONFARDINI, 2014).

## **1.1 Objetivos**

Esta pesquisa tem como objetivo comparar as propriedades nos estados fresco e endurecido de três tipos de concretos contendo diferentes aditivos químicos redutores de água.

Serão avaliados os concretos com relação água-cimento de 0,42; 0,50 e 0,65. Estas relações a/c são bastante representativas e muito utilizadas para a elaboração de uma curva relação a/c x resistência à compressão. Os aditivos químicos redutores de água estudados são: aditivo à base de lignosulfonato (AP121), de base mista de lignosulfonato e policarboxilato (AM300) e à base de policarboxilato (ASH35).

Serão obtidas as dosagens ideais dos concretos, ajustando-se os traços para uma consistência plástica da classe S(100 ± 20) mm para cada traço contendo um aditivo redutor de água diferente. Serão comparadas as manutenções da trabalhabilidade pela avaliação da consistência pelo abatimento de tronco de cone, o teor de ar incorporado, os tempos de início e fim de pega, a resistência à compressão axial, a resistência à tração na flexão, o módulo de elasticidade, a absorção, o índice de vazios e a massa específica dos concretos com relação a/c igual a 0,5.

## **1.2 Justificativa**

O concreto dosado em central é amplamente utilizado atualmente. A pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), no ano de 2013, indica que a produção de concreto nas centrais brasileiras atingirá 72,3 milhões de m<sup>3</sup> em 2017, crescimento de 41,2% no período de cinco anos, a uma taxa anual de 7,1%. Este crescimento é alavancado pelo crescimento da construção civil e pela mudança de cultura das construtoras, que passaram a utilizar concreto usinado em vez de produzir o concreto diretamente na obra (ABCP, 2013).

O concreto tem um papel importante nas recentes mudanças climáticas já que em sua produção é usado o cimento, que é um material associado a grandes quantidades de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (TAYLOR, 2006). Estudos indicam que as emissões de CO<sub>2</sub> na produção de cimento representam aproximadamente 5% das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> na atmosfera (WBCSD, 2007).

Dentro deste contexto, as empresas produtoras de concreto realizam novos investimentos em tecnologia, uma vez que o cenário atrativo promove a inserção de novas empresas no mercado tornando-o cada vez mais competitivo, levando a uma busca da redução do consumo de água e cimento nas dosagens dos concretos reduzindo seu custo de fabricação e tornando-os mais sustentáveis.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cimento *Portland*

O cimento *Portland* é um aglomerante hidráulico composto principalmente por silicatos de cálcio ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  e  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), aluminato de cálcio ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ferroaluminato de cálcio ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) obtidos pela moagem do clínquer, que é obtido pela calcinação, a aproximadamente  $1450^\circ\text{C}$ , das matérias primas calcário (principal fonte de CaO), argila (principal fonte de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e eventuais corretivos químicos como bauxita e minério de ferro, que são adicionados para facilitar a formação do silicato de cálcio a temperaturas consideravelmente mais baixas. Esta formulação envolve ainda o incremento, durante o processo de moagem, da gipsita ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou sulfato de cálcio numa proporção de 3 a 5 %, que controla as reações de hidratação, além de adições como escória de alto-forno (subproduto da fabricação da gusa), materiais pozolânicos de origens naturais e artificiais e *filler* de calcário (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Em síntese, o processo de produção de cimento engloba as etapas de extração, moagem, homogeneização das matérias-primas calcáreas e argilosas em proporções predefinidas seguida da clinquerização desta mistura em forno rotativo e finalmente o resfriamento do produto resultante, que depois é moído (SOARES, 1998).

A química do cimento possui uma abreviação própria tanto para os óxidos quanto para os compostos formados durante o processo de clinquerização, conforme mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Abreviações próprias para óxidos e compostos do cimento *Portland*.

Óxido	Abreviação	Composto	Abreviação
CaO	C	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
$\text{SiO}_2$	S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
$\text{Al}_2\text{O}_3$	A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	F	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$
MgO	M	$4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SO}_3$	$\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$
$\text{SO}_3$	<u>S</u>	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$
$\text{H}_2\text{O}$	H	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CSH}_2$

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

Importante ressaltar que as fases minerais como a alita ( $\text{C}_3\text{S}$ ), belita ( $\text{C}_2\text{S}$ ), os aluminatos e ferroaluminatos de cálcio ( $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_4\text{AF}$ ) não são puras podendo incorporar impurezas (em menor quantidade) oriundas das matérias primas ou da interação com o combustível durante o processo de clínquerização (TAYLOR, 1997).

Outros importantes constituintes do cimento, que agem durante o processo de hidratação, são os sulfatos de cálcio (gipsita) que reagem com o  $\text{C}_3\text{A}$  (fase mais reativa) formando primeiramente o trissulfoaluminato de cálcio (etringita) e posteriormente se transformando em monossulfonato de cálcio que impede a rápida formação do aluminato hidratado ( $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ ) (TAYLOR, 1997).

O mercado brasileiro comercializa basicamente onze tipos de cimento *Portland*. O nome técnico varia conforme o tipo e proporção de adição mineral. Quanto às classes de resistências mecânicas podem ser de 25; 32 ou 40 MPa, que correspondem a uma resistência à compressão da argamassa padrão aos 28 dias. A Tabela 2.2 mostra estes tipos de cimento com sua nomenclatura e limites dos conteúdos constituintes predefinidos em normas.

Tabela 2.2 – Tipos de cimento *Portland* normatizados no Brasil.

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Fíler calcário
Comum	CPI	25, 32, 40	100		0	
Comum com Adição	CPI-S	25, 32, 40	99-95		1-5 (em um dos 3)	
Composto com Escória	CPII-E	25, 32, 40	89-56	11-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25, 32, 40	89-70	0	11-20	0-10
Composto com Fíler	CPII-F	25, 32, 40	94-90	0	0	6-10
Alto-Forno	CPIII	25, 32, 40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	25, 32	79-50	0	21-45	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a Sulfatos	RS	25, 32, 40				
Baixo Calor de Hidratação	BC	25, 32, 40				
Branco Estrutural	CPB	25, 32, 40				

Fonte: Adaptado de Kihara e Centurione (2005).

## 2.2 Aditivos químicos para concreto

De acordo com a norma NBR 11768 (ABNT, 2011), aditivos químicos são produtos que, “adicionados em pequenas quantidades aos concretos de cimento *Portland*, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições”.

Uma propriedade desejada nos concretos é a trabalhabilidade, que é constituída de duas outras propriedades da mistura que são a fluidez, que descreve a facilidade de mobilidade e a coesão, que descreve a dificuldade ou resistência à exsudação e segregação (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Atualmente, os aditivos químicos estão presentes em quase todos os concretos produzidos em centrais de concreto. Segundo Mehta e Monteiro (2014):

... ”o reconhecimento de que as propriedades do concreto, nos dois estados, fresco e endurecido, podem ser modificadas com a adição de determinados materiais às misturas de concreto tem sido responsável

pelo grande crescimento da indústria de aditivos e adições para concreto nos últimos 60 anos” (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Para Martin (2005), os aditivos, quando utilizados corretamente, podem influenciar a mistura do concreto principalmente das seguintes formas:

a) Modificar ou melhorar:

- a reologia do concreto no estado fresco no que diz respeito à trabalhabilidade e segregação;
- a pega e o endurecimento do cimento;
- o conteúdo de ar incorporado e ou de outros gases no concreto;
- a resistência às ações físicas, mecânicas e químicas, ou seja, melhorar a durabilidade;
- a resistência mecânica do concreto, em suas diferentes idades.

b) Obter uma homogeneidade das misturas de concretos.

c) Ampliar o campo de aplicação dos concretos.

d) Diminuir o custo de produção dos concretos.

Essas modificações podem ser sensíveis à variação da dosagem dos aditivos que influenciam diretamente nas características dos materiais utilizados no concreto (MARTIN, 2005). No caso dos aditivos redutores de água, seu desempenho pode ser influenciado pelo conteúdo de  $C_3A$  do cimento como mostrado na Figura 2.1.

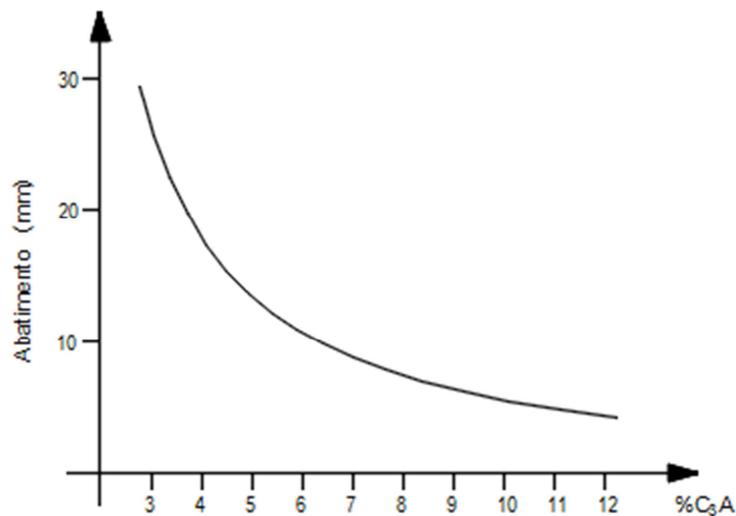


Figura 2.1 – Influência da quantidade de C<sub>3</sub>A do cimento na trabalhabilidade de argamassas.

Fonte: Adaptado de Massa e Testolin (1980) *apud* Martin (2005).

Os redutores de água atuam melhor nos cimentos com baixo teor de C<sub>3</sub>A e sua eficácia, portanto, depende de sua dosagem no concreto, de suas características e, principalmente do tipo de cimento. Portanto, o desempenho dos redutores de água nas misturas depende principalmente, no que se refere ao cimento, do consumo e do tipo, do conteúdo de C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>S do *clínquer*, das características e quantidades das adições, da alcalinidade e da quantidade de gesso. É importante ressaltar que os aditivos têm papel de melhorar as características do concreto e não corrigir erros de dosagem previamente cometidos (MARTIN, 2005).

### 2.2.1 Aditivos redutores de água, plastificantes e superplastificantes

Algumas substâncias quando são adsorvidas pelos grãos de cimento possuem efeito plastificante pela redução da tensão superficial da água (agentes surfactantes) ou pela defloculação através da mudança da carga eletrostática dos grãos de cimento, pela repulsão eletrostática e pelo efeito estérico (MARTIN, 2005).

Com frequência, essas substâncias são combinadas entre si em novas formulações que resultam aditivos mais versáteis em busca principalmente dos seguintes objetivos (MARTIN, 2005):

- maior trabalhabilidade: aumento da fluidez mantendo a mesma resistência à compressão axial;
- aumento da resistência mecânica e durabilidade reduzindo a relação a/c;
- redução de custo: reduzindo o consumo de cimento e de água para uma mesma resistência à compressão axial e trabalhabilidade.

Os aditivos redutores de água são aqueles capazes de reduzir o consumo de água para uma mesma consistência (trabalhabilidade) ou aumentar a fluidez do concreto quando a quantidade de água da mistura é mantida. Os plastificantes, que são redutores de água comuns (geralmente base lignosulfonato) permitem uma redução na dosagem de água de pelo menos 5%. Já os aditivos químicos à base de policarboxilatos, ou superplastificantes tipo II, como são classificados pela norma NBR 11768 (2011), permitem redução na dosagem de água nas misturas de até 40% (HARTMANN *et al.*, 2011).

#### a) Aditivo redutor de água (plastificante)

O aditivo redutor de água mais utilizado é o lignosulfonato. Este produto é obtido principalmente do rejeito do processo de extração da celulose da madeira. Esse subproduto contém uma mistura complexa de compostos químicos da lignina (20% a 30%), produtos oriundos da decomposição da celulose, carboidratos e ácidos sulfurosos livres ou sulfatos (HARTMANN *et al.*, 2011).

A principal função dos lignosulfonatos quando adicionados nos concretos é a dispersão das partículas coloidais que influencia numerosas propriedades reológicas e mecânicas do concreto. Geralmente, este produto oferece boa manutenção de trabalhabilidade, porém, esta característica pode sofrer grandes diferenças entre diferentes tipos de lignosulfonatos (MARTIN, 2005). Uma outra característica importante é que os lignosulfonatos podem apresentar um grande

retardo no tempo de início de pega causado pelos altos teores de açúcar na sua composição, além da incorporação de ar nas misturas (LYRA, 2010).

Mecanismo de ação: Moléculas polares incorporadas à superfície das partículas de cimento, ficando expostas às extremidades com cargas elétricas iguais e provocando, conseqüentemente, a repulsão eletrostática dessas partículas conforme mostrado na Figura 2.2 (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

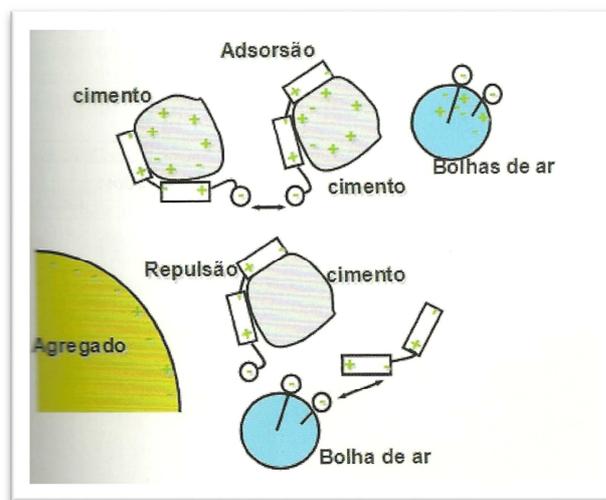


Figura 2.2 – Mecanismo de ação dos aditivos redutores de água plastificantes.

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

#### b) Aditivos de alta redução de água (superplastificantes)

Os aditivos de alta redução de água são os aditivos à base de polímeros chamados policarboxilato-poliéteres ou éteres policarboxílicos (PCE). Trata-se da última geração de superplastificantes. Quando utilizados com cimentos adequados oferecem uma grande redução do consumo de água das misturas com efeito fluidificante de longa duração e pouco retardamento do tempo de início de pega. Quando relacionados com os surfactantes etoxilados, se não formulados cuidadosamente, os PCEs têm tendência a incorporar ar (MARTIN, 2005).

A estrutura destes polímeros, cuja representação da molécula pode ser vista na Figura 2.3, pode se apresentar de várias maneiras diferentes dependendo da

aplicação e suas propriedades são determinadas por parâmetros moleculares, tais como o comprimento da cadeia molecular (grau de polimerização) e a frequência, o tamanho e a composição das cadeias anexadas à cadeia principal. Segundo Hartmann *et al.* (2011), a dispersão e a defloculação das partículas de cimento podem ser controladas por meio da mudança do comprimento dessas cadeias e, ainda, pelas mudanças do comprimento da cadeia central desses polímeros.

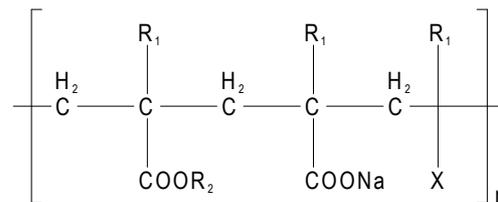


Figura 2.3 – Representação da molécula do policarboxilato.  
Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

No Japão, desde 1990, pesquisas vêm contribuindo para uma grande inovação das tecnologias dos dispersantes do cimento com o uso dos aditivos superplastificantes a base de policarboxilatos ( HATMANN e HELENE, 2003).

Mecanismos de ação: Podem agir nas partículas de cimento por repulsão eletrostática (Tipo I) ou por repulsão estérica (Tipo II) conforme mostrado na Figura 2.4. Quanto mais longa a cadeia polimérica maior será a fluidez e menor o tempo de pega da mistura (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

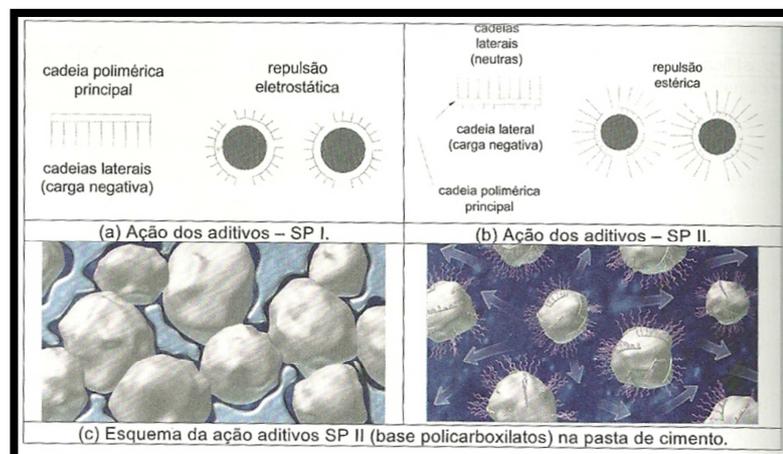


Figura 2.4 – Mecanismo de ação dos aditivos redutores de água superplastificantes.  
Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

O momento da adição do superplastificante na mistura do concreto altera seu desempenho tanto na fluidez quanto na manutenção do abatimento. A adição retardada de superplastificantes atua como uma barreira repulsiva adicional entre as partículas de cimento, com uma nova contribuição para melhorar a fluidez das pastas de cimento (AIAD, 2003).

## **2.3 Durabilidade do concreto**

De acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”.

Os concretos usinados devem apresentar, além de boas características mecânicas, uma maior durabilidade, que é sinônimo de vida útil longa. Devemos ressaltar que a água é o agente principal da maioria dos problemas de durabilidade dos concretos. Os ataques químicos manifestam-se através de efeitos físicos indesejáveis como, por exemplo, o aumento da porosidade, que indica uma maior permeabilidade. A permeabilidade pode ser definida como a propriedade que determina a taxa de fluxo de um determinado fluido por um sólido poroso. Dois fatores influenciam diretamente a permeabilidade dos concretos, o volume de vazios da pasta de cimento endurecida e o ar incorporado (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

### *2.3.1 Volume de vazios capilares*

O volume total de vazios capilares, também conhecido como porosidade, são os espaços não preenchidos depois da água ser consumida pelas reações de hidratação do cimento ou por evaporação para o ambiente. Quando são maiores que 50 nm (denominados macroporos), têm maior influência na determinação da permeabilidade dos concretos. Quanto menor a relação água cimento ( $a/c$ ), menor será o volume dos vazios capilares (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

### 2.3.2 Ar incorporado

O ar incorporado no concreto pode ser compreendido como vazios de ar esféricos, que pode ser dividido em ar aprisionado, que é uma pequena quantidade de ar que fica aprisionada na pasta de cimento durante a mistura do concreto (tamanhos entre 50 e 200  $\mu\text{m}$ ), ou ar incorporado, que é incorporado aos concretos, propositalmente ou não, com o uso de aditivos químicos (podem chegar a 3 mm) (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A incorporação de ar ao concreto é importante em climas frios sob a ação de gelo e degelo, pois aumenta a resistência aos danos causados pelo congelamento e descongelamento além de melhorar a trabalhabilidade da mistura. No entanto, estes fatores vêm juntamente com a redução da resistência à compressão e do módulo de elasticidade do concreto endurecido levando os produtores de concreto a tentar impedir a incorporação de ar nas misturas. Alguns aditivos químicos, tais como os superplastificantes, podem funcionar como um promotor ou inibidor de ar, dependendo da sua natureza química específica. A dificuldade de se caracterizar o percentual de ar incorporado no concreto fresco no campo torna ainda mais importante compreender bem este fenômeno. Deve-se ressaltar que cada componente das misturas de concreto de cimento *Portland*, incluindo, agregados, água e aditivos podem alterar o sistema de vazios de ar em diferentes níveis. O uso de diferentes misturadores, a quantidade do lote, os métodos de aplicação e outros fatores ligados à operação desde a produção até a aplicação final podem afetar a incorporação de ar nas misturas (DU e FOLLIARD, 2004).

A porosidade no estado endurecido apresenta elevada correlação com o teor de ar incorporado no estado fresco. Deve-se considerar ainda que uma pequena variação no teor de ar incorporado, que pode ser calculado de acordo com a Equação 1, afeta de forma considerável as resistências mecânicas do concreto endurecido como o módulo de elasticidade que pode ser reduzido em até 35% (ROMANO, 2013).

$$AI\% = VAI / VT \times 100$$

Equação 1

Onde:        AI% é o percentual de ar incorporado (%);  
              VAI é o volume de ar incorporado (cm<sup>3</sup>);  
              VT é o volume total de concreto (cm<sup>3</sup>).

### 2.3.3 Descrição qualitativa de um sólido poroso

Qualquer material sólido que contenha canais, cavidades ou interstícios pode ser considerado poroso, embora uma definição mais cuidadosa possa ser necessária em alguns casos. Deve-se tomar cuidado com a escolha da terminologia, a fim de se evitar ambiguidades.

Como se pode observar na Figura 2.5, os poros podem ser classificados de acordo com sua disponibilidade para um fluido externo. Uma primeira categoria de poros são aqueles totalmente isolados dos seus vizinhos, como na região (a), que são descritos como poros fechados e influenciam os sólidos em propriedades macroscópicas como a densidade, a resistência mecânica e a condutividade térmica, mas são inativos em processos tais como o fluxo de fluido e adsorção de gases (ROUQUEROL *et al.*, 1994).

Por outro lado, os poros que têm um canal de comunicação contínua com a superfície externa do corpo, como (b) (c) (d) (e) e (f), são descritos como poros abertos. Alguns podem se abrir apenas numa extremidade como (b) e (f) e são descritos como poros cegos, ou seja, sem saída. Outros podem ser abertos nas duas extremidades como em torno de (e). Os poros podem também ser classificados de acordo com sua forma: eles podem ser cilíndricos abertos (c) ou cegos (f), em forma de bulbo (b), em forma de funil (d). Próxima, porém diferente da porosidade é a rugosidade da superfície externa, representada pela região (g) (ROUQUEROL *et al.*, 1994).



Figura 2.5 – Corte transversal esquemático de um sólido poroso.  
Fonte: Rouquerol *et al.* (1994).

## 2.4 Avaliação da qualidade através de ensaios de absorção e permeabilidade

A taxa de absorção de água de um concreto por capilaridade é uma boa forma de avaliar a sua durabilidade potencial quando submetido a ambientes agressivos. Quando a taxa de absorção é baixa significa que os íons agressivos do meio terão dificuldade de penetrar no concreto. Pesquisas experimentais mostram que os valores de absorção de água nos concretos diminuem com a redução da relação água/cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Com exceção da resistência à ação do congelamento, a durabilidade dos concretos é, frequentemente, controlada pela permeabilidade. A permeabilidade está relacionada com a porosidade capilar, que é controlada pela relação água/cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

## 2.5 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica do concreto endurecido assim como a resistência à compressão axial. A maioria dos projetos de estruturas de concreto armado baseia-se somente na resistência à compressão. Porém, em estruturas especiais, como aquelas de grandes vãos, é importante conhecer também com precisão outras características como o módulo de

elasticidade, a retração, a fluência e outras características que expressem seu comportamento no estado limite de serviço (MELO NETO e HELENE, 2002).

Quando um corpo de prova de um determinado material é submetido a uma dada tensão ( $\delta$ ), verifica-se que, até um determinado limite, a deformação específica ( $\epsilon$ ) é diretamente proporcional a esta dada tensão. A deformação específica é o quociente entre o alongamento ou encurtamento e o comprimento inicial do corpo de prova. Esta relação entre as tensões e as deformações dos materiais é a Lei de Hooke que é apresentada na Equação 2. A constante de proporcionalidade ( $E$ ) é uma propriedade característica do material e é denominada de Módulo de Elasticidade (HELENE *et al.*, 2013).

$$\delta = E \times \epsilon$$

Equação 2

Onde:  $\delta$  é a tensão aplicada no material;  
 $\epsilon$  é a deformação específica do material;  
 $E$  é o módulo de elasticidade do material.

Esta equação é linear onde o eixo das ordenadas representa as deformações e das abscissas representa as tensões. Geometricamente, o módulo de elasticidade é o coeficiente angular desta reta gerada pela lei de Hooke. Portanto, quanto mais próxima esta reta estiver do eixo das tensões, maior o módulo da elasticidade do material.

### 2.5.1 Não linearidade da curva de tensão x deformação do Concreto

O concreto endurecido não obedece a Lei de Hooke. Segundo Helene *et al.*, (2013):

... “O concreto endurecido é um material que pode ser considerado como um pseudo-sólido, pois contem esqueleto sólido, água e ar. Estes dois últimos componentes respondem por parcelas importantes de suas propriedades, nas quais estão incluídas as deformações sob as cargas, tanto a imediata como a lenta, e as deformações

independentes da ação de cargas como a retração hidráulica. Sob a ação de cargas externas e, também, do peso próprio, o concreto apresenta deformações e, ao contrário do aço, não obedece a Lei de Hooke, conduzindo a um diagrama tensão–deformação curva”.

Quando curvas  $\delta$ - $\epsilon$  características para cada agregado, pasta de cimento endurecida e do concreto carregados em compressão axial são plotadas, observa-se que, ao contrário dos agregados e de algumas pastas endurecidas, o concreto não é um material elástico como pode ser observado na Figura 2.6. A deformação de um corpo de prova de concreto submetido à uma carga não é proporcional à tensão aplicada e esta deformação não é totalmente recuperada no descarregamento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

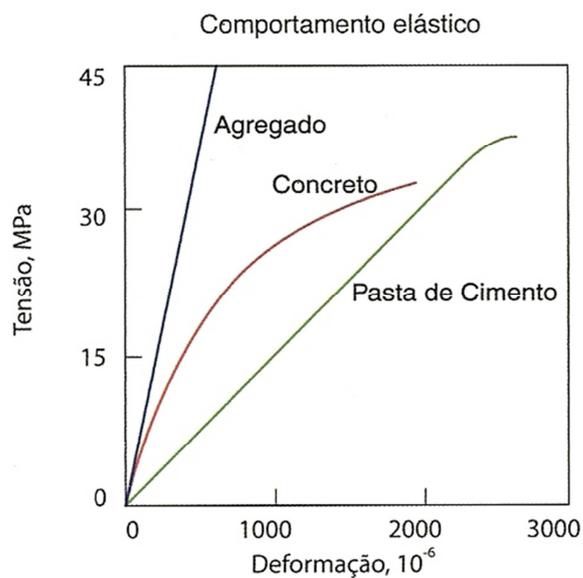


Figura 2.6 – Comportamentos típicos de tensão-deformação de agregado, concreto e pasta de cimento.

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

A explicação desta não linearidade vem de estudos da microfissuração progressiva do concreto quando submetido à cargas, ilustrada na Figura 2.7.

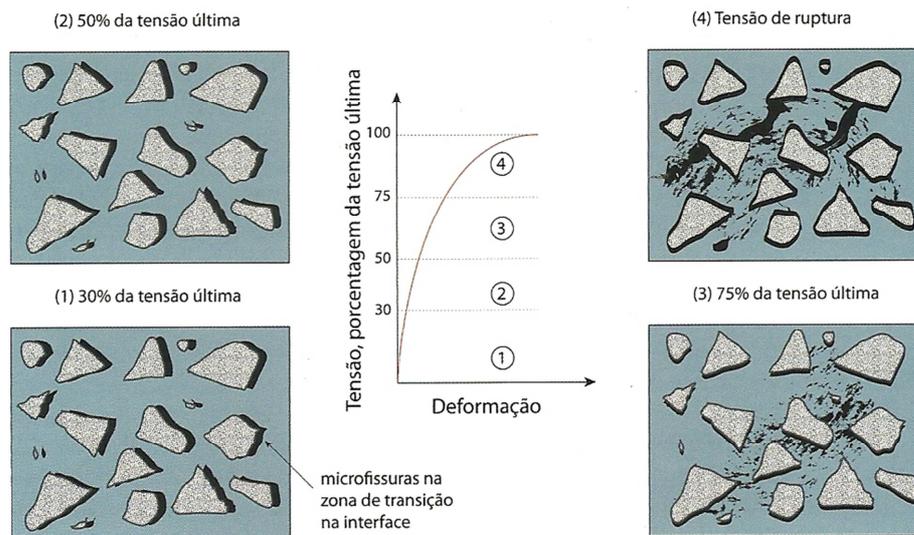


Figura 2.7 – Representação do comportamento do concreto submetido à compressão uniaxial.

Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

A relação entre o nível de tensão e a microfissuração pode ser dividida em quatro estágios distintos. Quando em exposição atmosférica em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), devido aos diferentes módulos de elasticidade do agregado gráudo e da matriz argamassa, iniciam-se fissuras na zona de transição desta interface. Abaixo de cerca de 30% da carga última de ruptura do corpo de prova de concreto, as fissuras na interface permanecem estáveis e a curva  $\delta$ - $\epsilon$  permanece linear. Esse é o estágio 1 na Figura 2.5. Acima de 30% da carga última, estas fissuras começam a aumentar em abertura, comprimento e quantidade e a curva  $\delta$ - $\epsilon$  começa a se desviar de uma linha reta. Porém, até 50% da carga última as fissuras permanecem estáveis caracterizando o estágio 2 da Figura 2.5. Acima de 50% da carga última e até 75% desta, o sistema de microfissuração se torna instável e aumenta consideravelmente sua proliferação fazendo com que a curva se incline consideravelmente para a horizontal (estágio 3). Acima de 75% e até 80% da carga última, a taxa de liberação de energia parece alcançar um limite crítico necessário para o crescimento espontâneo das fissuras, mesmo sob tensão constante, e o corpo de prova se deforma até o rompimento, caracterizando o estágio 4 (final) da Figura 2.5 (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Para obtenção do módulo de elasticidade do concreto utiliza-se a norma NBR 8522 (ABNT, 2008), onde a declividade da curva tensão x deformação, quando o corpo de prova é submetido a uma tensão uniaxial, é analisada.

### *2.5.2 Tipos de módulos de elasticidade*

Os módulos de elasticidade do concreto, que são vários de acordo com a interpretação da curva de tensão x deformação obtidas em laboratório, são os seguintes:

#### *2.5.2.1 Módulo estático*

O módulo de elasticidade estático de um material submetido à compressão uniaxial é dado pela declividade da curva tensão – deformação. Uma vez que esta curva não é linear, existem três métodos para obtenção deste módulo como descrito a seguir (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Módulo tangente:

É dado pela declividade da reta tangente na origem ou em qualquer ponto da curva de tensão x deformação do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Módulo secante:

É dado pela declividade da reta secante à curva de tensão x deformação do concreto, traçada da origem até uma tensão de 40% da carga de ruptura do corpo de prova (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Módulo cordal:

Também é dado pela declividade da reta secante à curva de tensão x deformação do concreto. Neste caso, os pontos de intercessão são definidos pelo ponto

correspondente a 50  $\mu\text{m}/\text{m}$  até o ponto correspondente a 40% da carga de ruptura do corpo de prova (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

#### 2.5.2.2 Módulo dinâmico

O módulo de elasticidade dinâmico é dado pela declividade da reta formada por uma linha tangente à curva de tensão x deformação traçada a partir da origem. Geralmente é 20; 30 e 40% maior que o módulo de elasticidade estático para concretos de alta, média e baixa resistências, respectivamente (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

#### 2.5.3 *Fatores que influenciam o Módulo de Elasticidade*

Nos materiais homogêneos existe uma relação entre a densidade e o módulo de elasticidade. Em materiais heterogêneos, com diferentes fases, como o concreto, a densidade e o módulo dos componentes e da matriz de cimento, as características das zonas de transição nas interfaces, determinam o comportamento elástico do concreto. A relação direta entre a resistência e o módulo de elasticidade dos concretos deve-se ao fato de que ambos são afetados pela porosidade das fases constituintes (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Agregado:

O fator que influencia diretamente os módulos dos agregados é a porosidade. Isto porque a porosidade do agregado está relacionada com a sua rigidez que controla a capacidade do agregado de restringir a deformação da matriz. Em geral, quanto maior a quantidade de agregado graúdo com alto módulo, maior será o módulo de elasticidade do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Matriz da pasta de cimento:

O módulo da matriz da pasta de cimento é determinado pela sua porosidade. Dentre outros fatores, os principais influenciadores do módulo desta matriz são a

relação água/cimento e o teor de ar incorporado. Há relatos de pastas de cimento hidratadas com valores de módulos entre 7 e 28 GPa, que são valores de agregados leves (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Zona de transição:

Geralmente microfissuras, vazios capilares e cristais de hidróxido de cálcio são mais comuns na zona de transição na interface do que na matriz da pasta de cimento, e por isso, tem um papel importante nas relações tensão x deformação do concreto. Em idades mais avançadas, o módulo de elasticidade aumenta a uma taxa mais alta que a resistência à compressão. É possível que os efeitos positivos da melhoria da densidade da zona de transição sejam mais efetivos que o ganho de resistência quando se busca melhora no módulo de elasticidade dos concretos (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Parâmetros de ensaio:

Os concretos ensaiados em condições úmidas apresentam módulos de elasticidade 15% mais altos do que quando ensaiados em condições secas. Já a resistência à compressão do concreto comporta-se ao contrário, é aumentada em 15% quando ensaiada em condição seca quando comparado com aquele ensaiado em condição úmida (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Para garantir a representatividade dos materiais utilizados na pesquisa, foram coletadas de uma só vez, quantidades de areia, brita e cimento que foram retirados nas baias e silos da Usina de Concreto Concrelagos (filial Duque de Caxias, RJ), suficientes para realizar todos os ensaios utilizados nesta pesquisa. Os agregados foram secos ao ar e armazenados em sacos plásticos. Quanto aos três aditivos, foram obtidos na empresa Aditibrás (matriz Duque de Caxias, RJ) e armazenados em recipientes de 250 ml.

##### 3.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP III – 40 RS da marca CSN, obtido na Usina de Concreto da Concrelagos Concreto Ltda de Duque de Caxias, RJ. A Tabela 3.1 mostra as características deste cimento, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3.1 – Características do cimento CP III – 40 RS

---

Massa Específica: 2,98 g/cm <sup>3</sup>
Área Específica (cm <sup>2</sup> / g): 4215
Início de Pega: 3:55 h
Fim de Pega: 5:00 h
Resistência à Compressão (MPa)
3 dias: 22,8
7 dias: 33,7
28 dias: 46,3

---

Fonte – CSN Cimentos (2015).

##### 3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia quartzosa provenientes de lavra a céu aberto (tipo cava), da região de Seropédica, RJ.

### 3.1.3 Agregado graúdo

Os agregados graúdos naturais (AGN) utilizados foram as britas graduadas 1 e 0 de pedra Gnaisse, provenientes da Pedreira Bangú situada no bairro Bangú no Rio de Janeiro, RJ.

### 3.1.4 Água

A água utilizada foi proveniente da CEDAE, disponível no laboratório da Empresa Aditibras em Duque de Caxias, RJ. Esta água é potável com aspecto puro, incolor e inodoro.

### 3.1.5 Aditivos químicos

Os aditivos químicos utilizados foram:

- Adi-Poli 121 (AP121) - redutor de água à base de lignosulfonato;
- Adi-Poli Mix 300 (AM300) - redutor de água de base mista lignosulfonado e policarboxilato;
- Adi-Super H35 (ASH35) - superplastificante à base de policarboxilato.

A Figura 3.1 mostra as amostras dos três aditivos utilizados nesta pesquisa. As fixas técnicas dos três aditivos são apresentadas no Anexo D, E e F.



Figura 3.1 – Aditivos químicos Adi-Poli 121 (AP 121), Adi-Poli Mix 300 (AM 300) e Adi-Super H35 (H35).

## 3.2 Métodos

Neste item será apresentada a metodologia aplicada para o desenvolvimento desta pesquisa no que se refere aos ensaios de caracterização dos materiais, às proporções das misturas dos concretos utilizados, aos ensaios de manutenção de abatimento, ar incorporado, à moldagem dos corpos de prova (CPs) dos concretos para avaliação da resistência à compressão axial, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, absorção, índice de vazios e massa específica dos concretos contendo os aditivos AP121, AM300 e ASH35 e dosados para as relações a/c de 0,65, 0,50 e 0,42.

### 3.2.1 Caracterização granulométrica dos agregados

Os agregados graúdo e miúdo, utilizados nos concretos utilizados neste estudo, estão de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009) e foram caracterizados conforme descrito a seguir.

Agregado miúdo:

O agregado miúdo foi homogeneizado e quarteado conforme a norma NBR NM 26 (ABNT, 2009) e caracterizado conforme os seguintes métodos de ensaios:

- Granulometria, NBR NM 248 (2003) - Agregados Determinação da composição granulométrica;
- Massa unitária, NBR NM 45 (2006) - Agregados Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- Massa específica, NBR NM 52 (2006) - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente;
- Materiais pulverulentos, NBR NM 46 (2006) - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m, por lavagem.

Agregados graúdos:

Os agregados graúdos foram caracterizados conforme os seguintes métodos de ensaios:

- Granulometria, NBR NM 248 (2003) - Agregados Determinação da composição granulométrica;
- Massa unitária, NBR NM 45 (2006) - Agregados Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- Massa específica, NBR NM 53 (2006) - Agregado graúdo - Determinação da massa específica;

### *3.2.2 Definição do teor ideal de aditivo com o mini-cone de Kantro*

O ensaio de mini-cone ou de miniabatimento, consiste em um ensaio que utiliza uma pequena quantidade de pasta que preenche um pequeno vazio tronco cônico com dimensões reduzidas como mostrado na Figura 3.2 que após a retirada do mesmo permite medir a área de espalhamento da pasta, possibilitando assim a avaliação de alterações de fluidez de pastas de cimento com o tempo ou com a variação do percentual do aditivo utilizado (MIKANOVIC e JOLICOEUR, 2008)

No ensaio, que foi descrito por Kantro em 1980, foram adicionadas quantidades diferentes dos três aditivos utilizados na pesquisa em pastas de cimento com relação  $a/c = 0,5$ . Foram utilizadas as dosagens de aditivos de 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1,0% e 1,2% sobre a massa de cimento, com objetivo de obter uma dosagem ideal que resultasse no espalhamento máximo da pasta, porém, que apresentasse início de pega antes das 24:00 h sem apresentar exudação ou segregação da mistura. Para o ensaio foi utilizado o mini molde em acrílico e uma placa de vidro. Para o procedimento, o mini molde tronco-cônico foi colocado sobre a placa de vidro e preenchido com a pasta e em seguida o molde foi removido. Após a estabilização do espalhamento da pasta foram medidos dois diâmetros perpendiculares e o valor médio representou o espalhamento da pasta ensaiada.

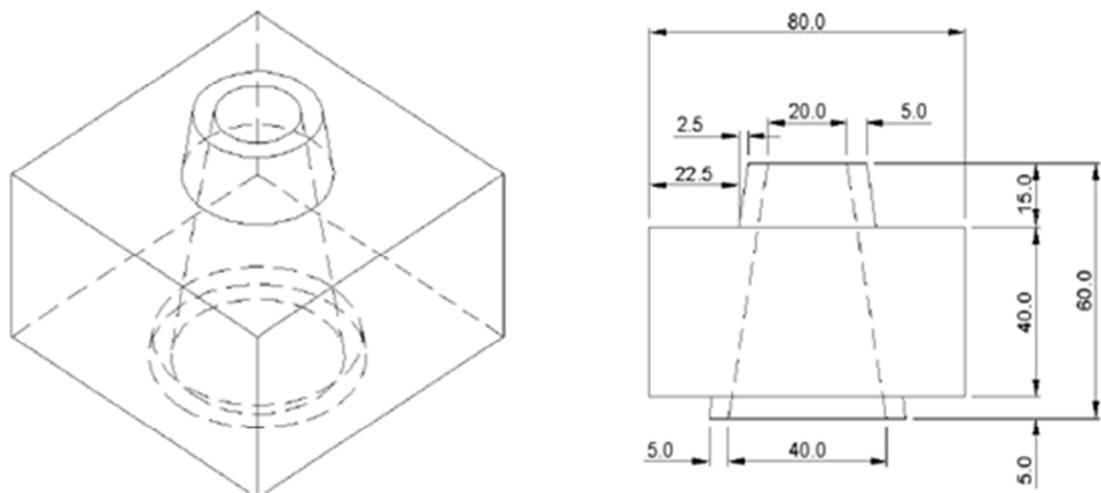


Figura 3.2 – Croqui do molde do mini-cone de Kantro.  
(MONTE, 2003)

### 3.2.3 Dosagem dos concretos

O método de dosagens dos concretos utilizados nesta pesquisa foi o ACI (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Para cada um dos três aditivos utilizados foram desenvolvidas três dosagens de concretos com relação água/cimento de 0,42, 0,50 e 0,65 que atendem desde a classe de agressividade I ( $\leq 0,65$ ) até a classe de agressividade IV ( $\leq 0,45$ ) de acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015). Todas as dosagens foram ajustadas a fim de se obter o abatimento de tronco de cone de Abrams na faixa S100 ( $100 \pm 20$  mm), visando atender aos tipos de concreto para construções usuais no mercado, inclusive concreto não estrutural.

Para os traços obtidos, foram variáveis, portanto, as quantidades de água de amassamento e os consumos de cimento por metro cúbico de concreto. A umidade relativa do ar e a temperatura ambiente foram controladas diariamente durante a realização dos ensaios em laboratório, sendo acima de 70% e 23 °C, respectivamente. A Figura 3.3 mostra a inclusão do aditivo químico AP121 na mistura do concreto com relação a/c = 0,5. A Figura 3.4 mostra o equipamento para monitoramento da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar durante a confecção dos concretos.



Figura 3.3 – Inclusão do aditivo na mistura.



Figura 3.4 – Controle de temperatura ambiente e umidade relativa do ar no laboratório.

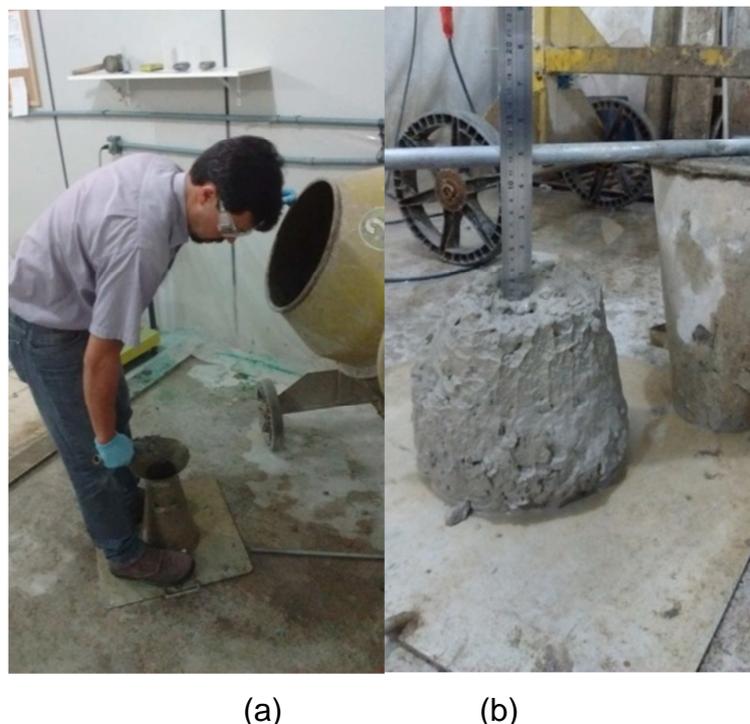
A sequência de colocação dos materiais na betoneira foi a seguinte: primeiramente foram adicionados 100% do agregado graúdo e 70% da água. Em seguida foi adicionado 100% do cimento, na sequência foi adicionado 100% do

aditivo químico, posteriormente 100% do agregado miúdo e finalmente, o restante da água.

Para os ensaios de perda de abatimento, teor de ar incorporado, início e fim de pega, módulo de elasticidade, tração na flexão, absorção, índice de vazios e massa específica foi avaliada somente a relação  $a/c = 0,5$ , que atende a classe C25 para concretos com  $f_{ck} = 25$  MPa, muito empregado nas obras de concreto armado e bastante representativo na produção das empresas de concreto usinado.

*Medida da consistência, moldagem e cura dos corpos de prova de concreto*

A consistência dos traços dos concretos foram medidas pelo ensaio de abatimento do tronco de cone de Abrams (*slump test*) com aplicação de 25 golpes com a haste padrão em cada uma das 3 camadas, atendendo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). A Figura 3.5 mostra o ensaio de medida do abatimento do tronco de cone (*Slump test*) para a relação  $a/c = 0,5$ .



(a) (b)  
Figura 3.5 – Ensaio de consistência (a) e medida do abatimento do tronco de cone de Abrams (b) para o concreto relação  $a/c = 0,5$

A moldagem e a cura dos corpos-de-prova foram realizadas de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Para a moldagem dos CPs cilíndricos (10 x 20 cm), o adensamento foi realizado com a utilização de uma haste de adensamento padrão, em 2 camadas e 12 golpes em cada uma.

Foram moldados 8 CPs para cada tipo de aditivo e para cada uma das três relações a/c, totalizando 72 CPs para realização de ensaios de resistência à compressão axial.

Para a realização do ensaio de módulo de elasticidade, foram moldados 5 CPs para cada aditivo com relação a/c = 0,50, totalizando 15 CPs. Foram moldados 5 CPs para cada aditivo com relação a/c = 0,50 totalizando 15 CPs para realização do ensaio de absorção.

Para moldagem dos CPs prismáticos (15 x 15 x 50 cm), o adensamento também foi realizado com a utilização de uma haste de adensamento padrão. Foram moldados 2 CPs para cada tipo de aditivo para a relação a/c = 0,50, totalizando 6 CPs prismáticos. A Figura 3.6 ilustra os corpos de prova prismáticos 15x15x50 cm e cilíndricos moldados para concretos com relação a/c = 0,5.

Após 24h da moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram desformados e imersos em tanque com água para cura até a data dos ensaios.



Figura 3.6 – Corpos de prova de concreto prismáticos e cilíndricos.

### 3.2.4 Ensaio de perda de abatimento

Este ensaio foi utilizado para comparar a perda de abatimento dos concretos com cada tipo de aditivo com relação  $a/c = 0,50$ , conforme a norma NBR 10342 (2012). Após a dosagem dos concretos e homogeneização da mistura em betoneira por 5 minutos, os concretos descansaram na betoneira por intervalos consecutivos de 30 minutos e os abatimentos do tronco de cone foram medidos após estes intervalos, totalizando 60 minutos, a fim de se obter a perda de abatimento após cada intervalo.

A Figura 3.7 mostra o ensaio de perda de abatimento para o concreto com aditivo ASH35 e relação  $a/c = 0,5$ . A Figura 3.8 mostra o abatimento inicial obtido para concreto com aditivo AM300 e relação  $a/c = 0,5$ .



Figura 3.7 – Ensaio de perda de abatimento para o concreto com aditivo ASH35 ( $a/c = 0,5$ ).



Figura 3.8 – Abatimento inicial do concreto com aditivo AM300 ( $a/c = 0,5$ ).

### 3.2.5 Teor de ar incorporado pelo método pressométrico

Este ensaio foi utilizado para comparar a incorporação de ar nas misturas no estado fresco dos concretos com relação  $a/c = 0,50$ . Este ensaio foi realizado nos concretos contendo os três aditivos, utilizou-se um aparelho medidor de ar incorporado para concreto conforme a norma NBR NM 47 (ABNT, 2002).

Em seguida, apresenta-se uma descrição do passo a passo para a realização do ensaio.

Colocação do concreto no aparelho:

Foi colocado o concreto fresco no recipiente, em três camadas de alturas aproximadamente iguais e aplicou-se 30 golpes por camada distribuídos uniformemente. Em seguida bateu-se levemente na face externa do molde, para eliminar eventuais vazios.

Fechamento da tampa:

Efetuu-se o arrasamento com o auxílio da régua metálica ou acrílica na posição horizontal em movimentos de vai e vem, e em seguida, executaram-se os mesmos movimentos em posição vertical. Terminando-se o arrasamento, limpou-se bem a borda do molde para que fosse feito o acoplamento da tampa. Em seguida, limpou-se bem e se umedeceu a tampa, colocou-se a mesma sobre o molde e foram feitos movimentos curtos para um bom assentamento.

Medição do ar incorporado:

Abriu-se os dois registros, introduziu-se água em um deles, com o auxílio de uma seringa, para que o ar existente entre a tampa e a superfície do concreto fosse totalmente eliminado. Fechou-se um dos registros e a válvula de alívio de pressão, aplicando-se 0,1 MPa de pressão inicial, verificando-se para que não ocorresse vazamento de ar pelo outro registro que se encontrava aberto. Fechou-se o outro registro, abriu-se a válvula de transmissão de pressão e fez-se a leitura. A Figura 3.9 mostra o aparelho fechado e pronto para realização do ensaio (a) e a medida do ar incorporado para os concretos com relação a/c = 0,5, contendo os aditivos AP121(b) e ASH35 (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 3.9 – Ensaio de ar incorporado (a) e medida do teor de ar incorporado para o concreto com relação a/c = 0,5 e aditivos ASH35 (b) e AM 300 (c)

Apresentação dos resultados dos teores de ar incorporado nos concretos:

Os resultados foram expressos em porcentagens com aproximação de 0,1 para teores até 2%; de 0,2 para teores entre 2% e 8%; e de 0,5 para teores maiores que 8%.

### 3.2.6 *Ensaio de início e fim de pega*

Neste ensaio, para todos os aditivos com relação  $a/c = 0,50$ , foram medidos os tempos de início e fim de pega com a utilização da Agulha de Proctor conforme a NBR NM 9 (ABNT, 2003). A Figura 3.10 mostra a realização desse ensaio para o concreto com aditivo AP121.



Figura 3.10 – Ensaio de início e fim de pega do concreto com aditivo AM300 ( $a/c = 0,5$ )

### 3.2.7 *Ensaio de compressão axial*

Neste ensaio foram medidas as resistências à compressão axial de 24 CPs de cada série totalizando 72 CPs, sendo que de cada série foram rompidos dois para cada idade de 3, 7, 28 e 63 dias. A Figura 3.11 mostra os corpos de prova dos

três aditivos com relação  $a/c = 0,5$  posicionados para a realização do ensaio de compressão axial. Foi utilizada uma prensa marca Solotest, série 9170, capacidade de 100 toneladas. Antes do ensaio, os corpos de prova passaram por processo de retífica para regularização das superfícies de aplicação das cargas.



Figura 3.11 – Ensaio de compressão axial dos concretos.

### 3.2.8 Resistência à tração na flexão

As resistências à tração na flexão dos concretos com relação  $a/c = 0,5$  foram obtidas de acordo com a norma NBR 12142 (ABNT, 2010) para a idade de 28 dias.

### 3.2.9 Ensaio de módulo estático de elasticidade ( $E_{ci}$ )

Este ensaio foi utilizado para comparar o módulo estático de elasticidade dos concretos com os três diferentes tipos de aditivos para os concretos com relação  $a/c = 0,50$ . Neste estudo foram ensaiados 5 CPs de cada série com idade de 28 dias, totalizando 15 CPs. Todos os CPs foram submetidos ao ensaio de módulo conforme a norma NBR 8522 (ABNT, 2008).

Para que essa linearidade seja respeitada, evitando-se assim microfissurações indesejadas no concreto, várias normas limitam a tensão máxima aplicada baseando-se em um percentual do valor da resistência final do concreto à compressão.

A norma brasileira NBR 8522 (ABNT, 2008), por exemplo, limita este valor em 30% da tensão de ruptura, e o ensaio consiste nos seguintes itens:

- Para cada determinação de módulo de elasticidade devem ser ensaiados três corpos de prova devidamente instrumentados com medidores de deformação;
- Os CPs devem ser centralizados nos pratos da máquina de ensaio de acordo com a ABNT NBR 5739 (2007) - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos;
- Os carregamentos e descarregamentos devem obedecer à velocidade de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s;
- Os medidores de deformação devem ser posicionados em regiões homogêneas, onde não haja irregularidades na superfície.

A Figura 3.12 exemplifica este ciclo de tensão realizado para a determinação do módulo de elasticidade.

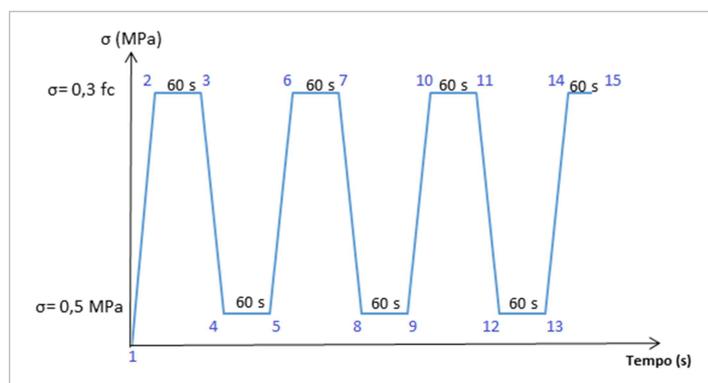


Figura 3.12 - Ciclo de tensão para determinação do módulo de elasticidade.  
Adaptada da NBR 8522 (2009).

O ensaio consiste em o corpo de prova de concreto devidamente instrumentado ser submetido à compressão elevando-se primeiro até uma carga correspondente a 30% do valor máximo de  $f_c$ , permanecendo nesta carga por 60 segundos, logo após reduzindo a carga até uma tensão de 0,5 MPa permanecendo também por 60 segundos e elevando-se novamente até a tensão de 30% da resistência de ruptura durante 60 segundos. Este ciclo se repete por mais duas vezes, totalizando a coleta de 15 pontos, incluindo a captura inicial zerada. Cada ponto é coletado no momento em que se atinge os valores esperados de 0,30 de  $f_c$ , que se completa os 60 segundos e que se atinge 0,5 MPa.

A Figura 3.12 difere-se da atual norma, devido a mesma não apresentar a tensão próxima de zero, e sim, uma estabilização em 0,5 MPa. Tal fato se justifica, pois a máquina hidráulica utilizada possui controle manual da velocidade de carga aplicada, e assim, havia uma dificuldade de se aproximar de zero, o que ocasionava a perda do ensaio. Portanto, recorreu-se ao gráfico da norma antiga (NBR 8522 (2003) sem nenhum prejuízo nos resultados.

A norma que regulamenta este ensaio prevê que a máquina deve atender aos valores máximos admissíveis para classe 1 ou melhor, estabelecidos na ABNT NBR NM ISO 7500-1.

A Figura 3.13 mostra a prensa hidráulica Amsler utilizada, que atende a estes requisitos.



Figura 3.13 - Prensa hidráulica utilizada no ensaio de módulo de elasticidade.

Foram utilizados medidores de deformações elétricos do tipo resistivo, ou seja, constituídos por uma liga de metal-filme estabilizadas, conhecidos como “*strain-gage*”. O medidor em questão foi colocado externamente ao corpo de prova, em regiões homogêneas, atendendo as especificações da norma.

O equipamento de deformação da DINATEST possui como *software* o *TestMod*, onde foram recebidos os pontos, controlada a carga e velocidade de operação da máquina, e gerados os relatórios necessários.

A determinação do módulo de elasticidade é calculada pela Equação 3, apresentada:

$$Eci = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} 10^{-3} = \frac{\sigma_b^{-0,5}}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} 10^{-3} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- $\sigma_b$  é a tensão maior, em MPa ( $\sigma_b = 0,3 f_c$ ), ou outra tensão especificada em projeto;
- 0,5 é a tensão básica, expressa em MPa;
- $\varepsilon_b$  é a deformação específica média ( $\varepsilon = \Delta L/L$ ), dos corpos de prova sob a tensão maior;
- $\varepsilon_a$  é a deformação específica média dos corpos de prova sob a tensão básica (0,5 MPa).

É importante destacar que o *software TestMod* tem estas fórmulas inseridas em sua programação. Para isto, as dimensões do corpo de prova são inseridas e o restante dos dados são obtidos automaticamente. Os dois *strain-gages* instalados são dispostos em faces opostas do CP e à medida que se altera a velocidade de carga aplicada, por conseguinte, altera-se a leitura de deformação. A Figura 3.14 mostra a interface do programa *TestMod* indicando a sua simplicidade e eficiência na coleta e análise dos dados.



Figura 3.14 - Interface do programa *TestMod* do DINATEST

No equipamento DINATEST são utilizadas 3 das 4 portas de entrada de dados: uma porta é ligada à prensa hidráulica, fornecendo a carga (transdutor de força) e as outras duas portas são ligadas aos dois *strain-gages*, fornecendo a deformação (transdutor de deformação), conforme a norma NBR 8522/2008. Pelos dois medidores de deformação, calcula-se a média, garantindo um resultado mais próximo da realidade, já que a deformação não se dá de forma uniforme ao longo do corpo de prova.

É possível ainda notar na interface que o programa tem um quadro aonde permanecem os pontos coletados, acima dele é indicada a força de pico do ensaio (kgf), a tensão de pico (MPa), a tensão atual (MPa) e a velocidade de ensaio (m/s), parâmetros importantes para o controle durante a execução do ensaio. Com isto, o programa gera o gráfico do ensaio na malha, tempo x força (kgf x segundos) e posteriormente, o relatório que fornece o módulo de elasticidade de cada corpo de prova.

### 3.2.10 Ensaio de absorção, índice de vazios e massa específica

Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da UFJF e foram utilizados 3 corpos de prova para cada aditivo (todos com relação a/c = 0,50). Foram medidas a absorção, o índice de vazios e as massas específicas secas, saturada e real dos concretos. Todos os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa além de apresentar, para cada tipo de ensaio, uma breve discussão destes resultados.

### 4.1 Caracterização dos agregados

Os resultados da caracterização da areia natural e sua composição granulométrica são mostrados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Caracterização do agregado miúdo (areia).

Agregado miúdo - Areia	
Módulo de finura (NBR NM 248)	2,322
Massa unitária (NBR NM 45)	1,43 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica (NBR NM 52)	2,62 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 4.2 – Composição granulométrica do agregado miúdo (areia).

Peneiras (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada
9,5	-	-	-
6,3	3,5	1	1
4,8	8,0	2	3
2,4	19,0	4	7
1,2	59,0	12	19
0,6	127,5	26	45
0,3	134,0	27	72
0,15	110,5	22	94
fundo	38,5	7,7	100,0

A areia utilizada na pesquisa apresentou uma distribuição granulométrica bem graduada, sem presença de torrões de argila, que é uma característica desejável para agregados miúdos destinados a produção de concreto, contribuindo para um

menor consumo de água nas dosagens do concreto reduzindo os consumos de cimento dos concretos com a mesma relação a/c. A areia é proveniente de cava a céu aberto e apresenta coloração clara e um grau de pureza elevado em análise visual.

Os resultados da caracterização das britas graduadas tipo Gnaisse e as suas composições granulométricas são mostrados nas Tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

Tabela 4.3 – Caracterização do agregado graúdo (brita zero).

Agregado graúdo - Brita 0	
Dimensão máxima característica (NBR NM 248)	12,5 mm
Massa unitária (NBR NM 45)	1,37 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica (NBR NM 52)	2,61 g/cm <sup>3</sup>
Absorção (NBR 9778)	0,9%

Tabela 4.4 – Caracterização do agregado graúdo (brita 1).

Agregado graúdo - Brita 1	
Dimensão máxima característica (NBR NM 248)	25 mm
Massa unitária (NBR NM 45)	1,46 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica (NBR NM 52)	2,78 g/cm <sup>3</sup>
Absorção (NBR 9778)	0,45%

Tabela 4.5 – Composição granulométrica do agregado graúdo – Brita 0.

Peneiras (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada
25	-	-	-
19	-	-	-
12,5	0	0	0
9,5	40	8	8
6,3	290,5	58	66
4,8	132,5	26	92
2,4	35,5	7	99
1,2	0,5	0	99
0,6	0,0	0	99
0,3	0,0	0	99
0,15	0,0	0	99
Fundo	1,0	1	100

Tabela 4.6 – Composição granulométrica do agregado graúdo – Brita 1.

Peneiras (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada
25	0	0	0
19	40	8	8
12,5	212	42	50
9,5	172	34	84
6,3	62,0	12	96
4,8	8,5	2	98
2,4	2,5	1	99
1,2	0,0	0	99
0,6	0,0	0	99
0,3	0,0	0	99
0,15	0,0	0	99
Fundo	3,5	1	100

As britas utilizadas nesta pesquisa são provenientes de rocha gnáissica e apresentam forma bem definida pouco pontiaguda e pouco lamelar apresentando uma forma bem característica, que são características desejáveis para a produção de concreto já que os grãos podem deslizar uns sobre os outros com maior facilidade contribuindo para uma menor demanda de água de amassamento para atingir a consistência desejada. O material se apresentou bastante limpo, com pouca presença de partículas finas na forma de pó.

#### **4.2 Definição da dosagem para cada aditivo químico.**

Os resultados que foram obtidos através do ensaio do Cone de Kantro cujo resultado é apresentado na Tabela 4.7, e as dosagens finais de cada aditivo adotadas para os concretos com relação  $a/c = 0,50$  são mostrados na Tabela 4.8. A primeira linha da Tabela 4.7 mostra o percentual de aditivo utilizado no ensaio, a segunda linha mostra a abertura da pasta, em milímetros, e a terceira linha mostra se a pasta apresentou pega com 24h em temperatura e umidade relativa do ar controladas.

Tabela 4.7 – Abertura, em mm, por dosagem percentual de cada aditivo obtida pelo método do Cone de Kantro.

Adi-Poli 121							
% Aditivo	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Abertura (mm)	70	80	95	115	115	125	135
Exsudação(24h)	sim	sim	sim	sim	não	não	não
Adi-Poli Mix 300							
% Aditivo	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Abertura (mm)	70	100	110	135	150	165	172
Exsudação(24h)	sim	sim	sim	sim	sim	não	não
Adi-Super H35							
% Aditivo	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
Abertura (mm)	N	90	160	180	220	235	230
Exsudação(24h)	sim						

Os teores de aditivos utilizados foram definidos para se obter o máximo desempenho no aumento do abatimento para cada consumo de água por m<sup>3</sup> de concreto e garantir que não houve exsudação das pastas com 24h de idade. A Figura 4.1 ilustra as pastas de cimento com os teores de aditivo de 0,2 % a 1,2 % para o aditivo AM300 em relação à massa de cimento.

Tabela 4.8 – Dosagens adotadas para cada aditivo

Aditivo	Teor adotado
Adi-poli 121	0,81%
Adi-Mix 300	1,08 %
Adi-super H35	0,57%



Figura 4.1 – Pastas com vários percentuais de aditivo químico para estudo de dosagem.

### 4.3 Dosagens dos concretos

As dosagens dos concretos resultaram em nove dosagens distintas, três para cada relação a/c sendo uma para cada tipo de aditivo químico redutor de água. A Tabela 4.9 mostra as dosagens obtidas para cada concreto.

Tabela 4.9 – Dosagens dos concretos e consumo dos materiais por m<sup>3</sup> de concreto.

a/c	Aditivo		Cimento (Kg/m <sup>3</sup> )	Ag. miúdo (Kg/m <sup>3</sup> )	Agregado graúdo (Kg/m <sup>3</sup> )		Água (L/m <sup>3</sup> )	Traço Unitário (c:a:b1:b0:ad:x) (massa)
	tipo	%			Brita 1	Brita 0		
0,42	AP121	0,81	500	558	655	412	210	1:1,116:1,310:0,824:0,42
	AM300	1,08	476	714	586	368	200	1:1,500:1,231:0,773:0,42
	HS 35	0,59	452	749	593	373	190	1:1,657:1,312:0,825:0,42
0,50	AP 121	0,81	410	653	652	410	205	1:1,593:1,590:1,000:0,50
	AM300	1,08	394	800	581	365	197	1:2,030:1,475:0,926:0,50
	HS 35	0,59	374	832	588	369	187	1:2,225:1,572:0,987:0,50
0,65	AP 121	0,81	329	738	627	394	214	1:2,243:1,906:1,198:0,65
	AM300	1,08	312	883	562	353	203	1:2,830:1,801:1,131:0,65
	HS 35	0,59	297	911	569	358	193	1:3,067:1,916:1,205:0,65

Estas dosagens mostram uma redução acentuada nos consumos de cimento quando aumenta-se a presença do policarboxilato no aditivo químico utilizado na produção do concreto devido à redução de água por m<sup>3</sup>.

### 4.4 Perda de abatimento dos concretos

Os concretos com os diferentes tipos aditivos e relação a/c = 0,50 apresentaram os seguintes resultados para a perda de abatimento conforme apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Perda de abatimento para cada aditivo.

Aditivo	Abatimento inicial	Abatimento 30 min	Abatimento 60 min
	(mm)	(mm)	(mm)
AP121	115	85	65
AM300	120	80	70
ASH35	110	70	40

A perda de abatimento foi bastante acentuada no concreto com aditivo ASH35 quando comparado com os outros dois aditivos que se comportaram praticamente da mesma forma. Os aditivos superplastificantes, como o ASH35, geralmente garantem fluidez elevada e de longa duração, porém, neste caso, o motivo da perda de abatimento ter sido maior no concreto contendo este aditivo, provavelmente está relacionada ao comprimento da cadeia molecular do polímero presente no aditivo (grau de polimerização) ou pelo tamanho, frequência e a composição das cadeias anexadas à cadeia principal.

#### 4.5 Teor de ar incorporado

Os concretos com os diferentes tipos aditivos e relação a/c = 0,50 apresentaram os seguintes resultados para o teor de ar incorporado conforme apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Teor de ar incorporado para cada aditivo.

Aditivo	Teor de ar incorporado
AP121	1,5 %
AM300	3,5 %
ASH35	3,0 %

Como esperado, a incorporação de ar no concreto foi mais representativa nos concretos contendo aditivo com policarboxilato enquanto que no concreto com aditivo à base de lignosulfonato foi significativamente menor. Os aditivos à base de policarboxilato tendem a incorporar mais ar e sua formulação química sempre deve ser ajustada para minimizar este efeito, principalmente quando combinados aos surfactantes etoxilados.

#### 4.6 Início e fim de pega

Neste ensaio, para todos os aditivos com relação a/c = 0,50, foram obtidos os seguintes resultados, que são apresentados na Tabela 4.12. Os tempos de início e fim de pega dos concretos foram bastante reduzidos quando foi aumentada a presença de policarboxilato no aditivo utilizado, o que já era esperado, já que este tipo aditivo tende a reduzir o início e o fim de pega dos concretos quando comparados com os aditivos à base de lignosulfonato.

Tabela 4.12 - Tempos de início e fim de pega para cada aditivo.

Aditivo	Início de pega	Fim de pega
AP121	9:00h	13:00h
AM300	7:00h	11:00h
ASH35	5:30h	10:30h

Os tempos de início e fim de pega foram medidos a partir do momento em que a água foi adicionada à mistura.

#### 4.7 Resistência à compressão axial

As resistências à compressão axial dos concretos foram medidas nas idades de 3, 7, 28 e 63 dias e os resultados são apresentados na Tabela 4.13. Todos os ensaios foram realizados conforme recomendações da NBR 5739 (2007).

Tabela 4.13 – Resistência à compressão axial dos concretos.

Água / Cimento	Aditivo		Data moldagem	Resistências à compressão (MPa)			
	Tipo	%		3 dias	7 dias	28 dias	63 dias
0,42	AP 121	0,81	14/08/2015	31,4-30,7	46,0-45,6	59,7-58,9	62,5-61,6
	AM 300	1,08		28,9-27,5	47,3-46,6	59,0-57,6	62,9-65,9
	HS 35	0,59		20,4-20,1	47,9-45,5	61,1-59,6	63,4-62,2
0,50	AP 121	0,81	04/09/2015	30,4-29,9	35,6-36,3	45,5-46,4	51,5-51,0
	AM 300	1,08		25,0-24,4	29,1-29,1	37,6-37,3	47,9-45,6
	HS 35	0,59		28,4-29,5	36,0-34,5	43,5-43,3	42,7-43,0
0,65	AP 121	0,81	21/08/2015	15,5-15,4	24,3-25,8	37,9-37,7	38,6-37,7
	AM 300	1,08		15,1-14,9	24,4-23,5	31,3-30,5	33,8-36,0
	HS 35	0,59		12,5-13,4	20,9-20,4	34,4-36,7	35,1-36,5

O resultado deste ensaio mostra que as resistências à compressão axial aos 28 dias de idade atingiram resultados acima de 30,5; 37,3 e 57,6 MPa, que são os menores resultados obtidos para as relações a/c de 0,65, 0,5 e 0,42, respectivamente. Estes resultados foram maiores para os concretos com maior consumo de cimento por m<sup>3</sup> nas relações a/c de 0,5 e 0,65 nos concretos contendo os aditivos AP121 com idade de 28 dias. Já para a relação a/c igual a 0,42 a resistência foi maior no concreto com aditivo de base mista AM300 com idade de 63 dias, ou seja, no concreto com consumo intermediário de cimento, que atingiu 65,9 MPa sendo essa a maior resistência alcançada neste estudo.

#### 4.7.1 Avaliação das resistências à compressão pelo uso das linhas de tendências

Neste item, será avaliado o comportamento das resistências a compressão axial dos concretos em diferentes idades e relações a/c para todos os aditivos utilizados nesta pesquisa empregando-se linhas de tendências. Para isto, foram utilizadas as médias das resistências obtidas nos corpos de prova dos concretos por idade avaliada. As Figuras 4.2 a 4.5 mostram as linhas de tendências para as resistências à compressão axial aos 3, 7, 28 e 63 dias de idade, respectivamente.

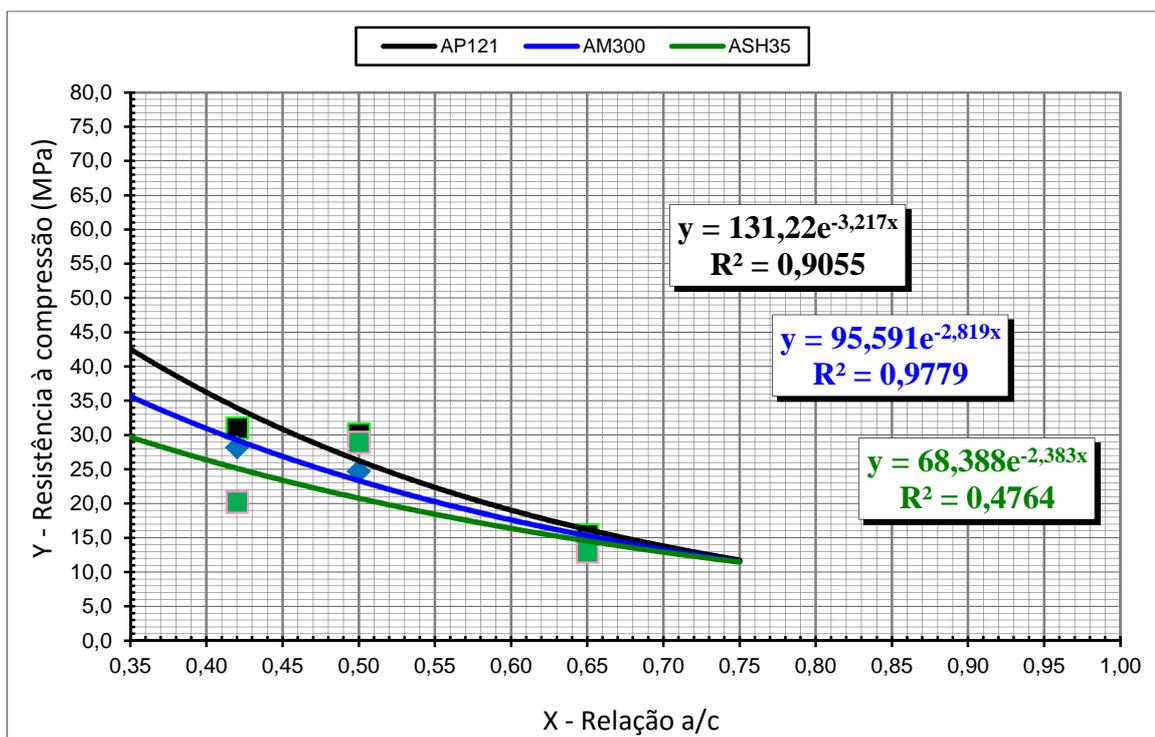


Figura 4.2 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 3 dias.

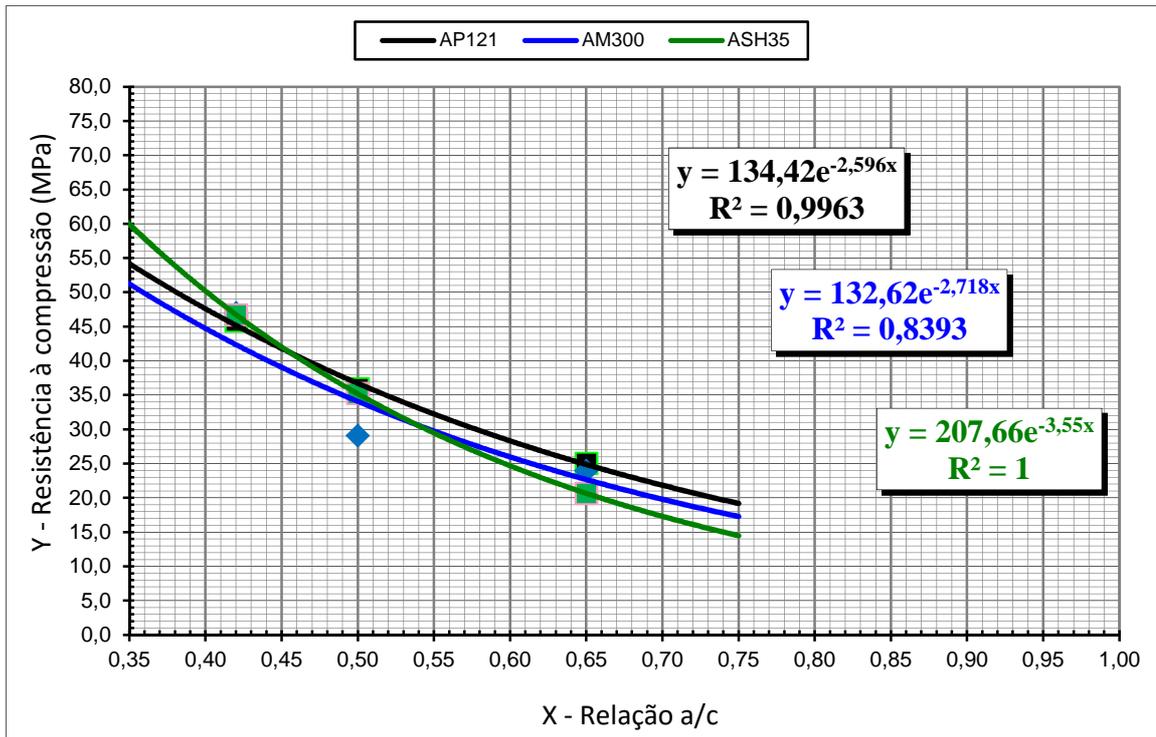


Figura 4.3 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 7 dias.

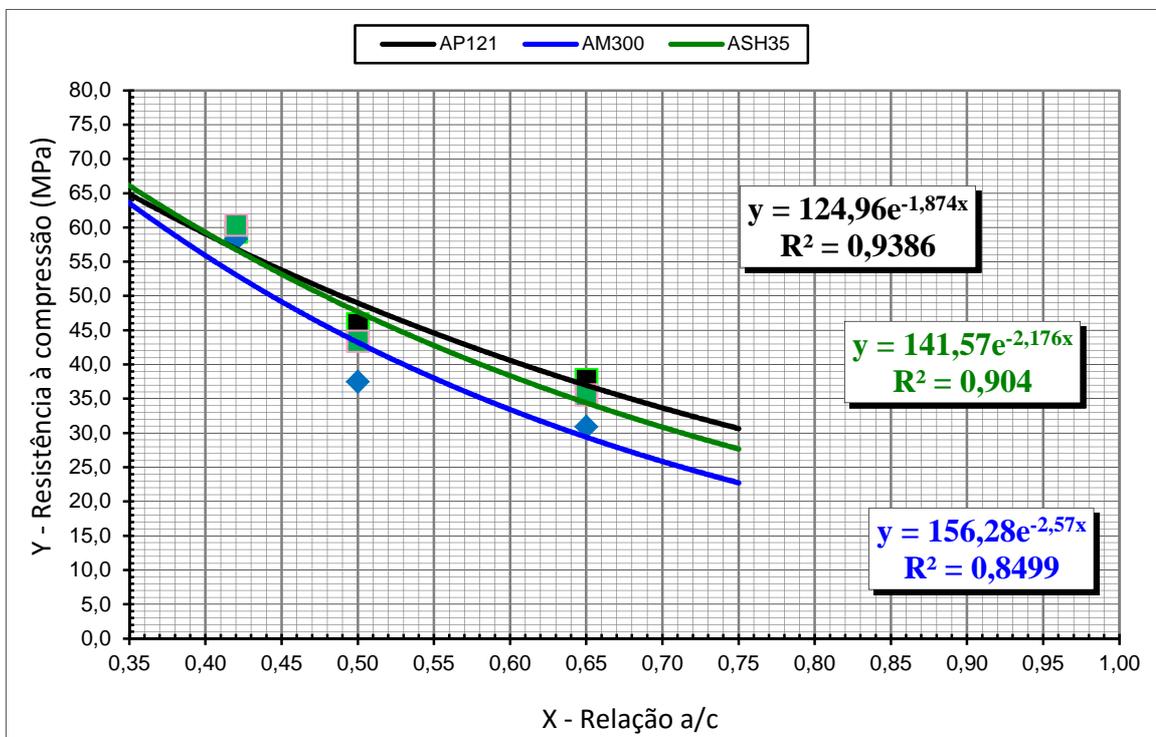


Figura 4.4 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 28 dias.

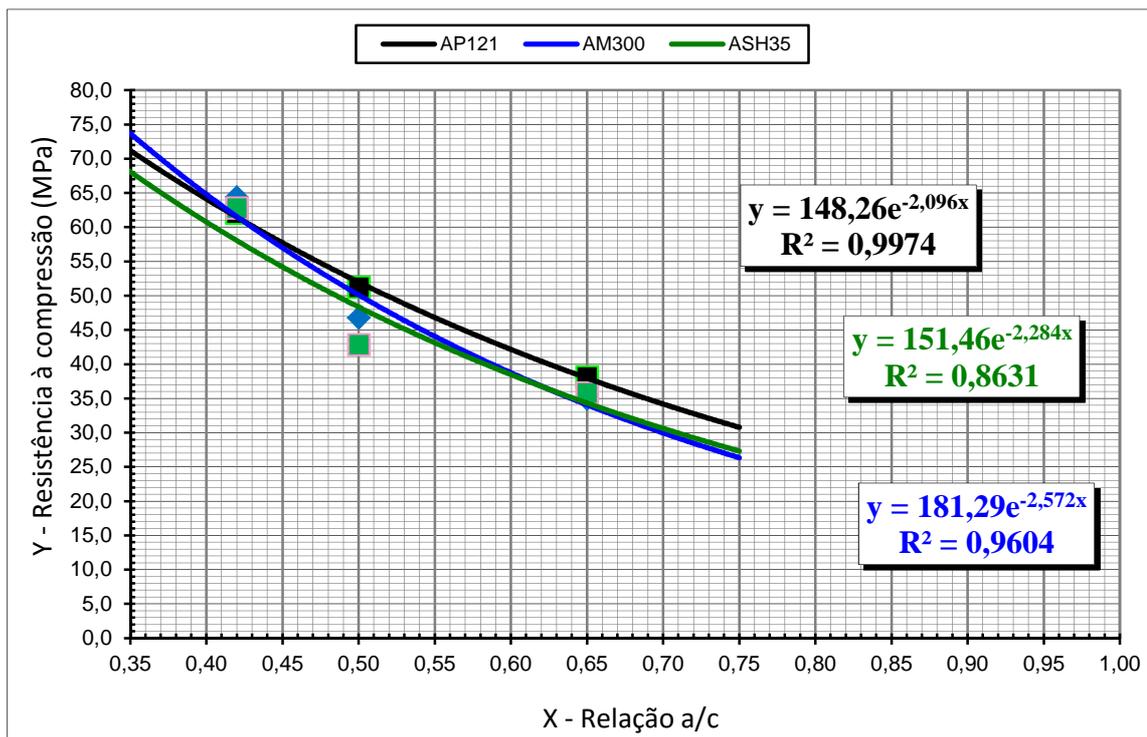


Figura 4.5 – Linhas de tendências para resistências à compressão aos 63 dias.

As linhas de tendências para a idade de 3 dias mostram que o ganho de resistência foi maior para os concretos com o aditivo Adi-Poli 121 (AP121) - redutor de água à base de lignosulfonato e menores relações a/c.

As linhas de tendências para a idade de 7 dias mostram que o ganho de resistência do concreto contendo aditivo à base de policarboxilato (ASH35) foi maior para relações a/c abaixo de 0,54 quando comparado com o concreto contendo aditivo de base mista (AM300) e maior para relação a/c abaixo de 0,45 quando comparado ao concreto contendo aditivo à base de lignosulfonato (AP121). Esses resultados demonstram um ganho de desempenho da resistência à compressão aos 7 dias (em relação à idade de 3 dias) para o concreto contendo o aditivo ASH35 e com menor relação a/c.

As linhas de tendências para a idade de 28 dias mostram que o ganho de resistência do concreto contendo aditivo à base de policarboxilato (ASH35) foi maior para todas as relações a/c quando comparado com o concreto contendo aditivo de base mista (AM300) e maior para relação a/c abaixo de 0,42 quando

comparado ao concreto contendo aditivo à base de lignosulfonato (AP121), reforçando resultado de 7 dias quando esta relação a/c era de 0,45.

As linhas de tendências para a idade de 63 dias mostram uma recuperação do ganho de resistência dos concretos contendo aditivo à base de lignosulfonato (AP121) e base mista (AM300) quando comparados ao concreto com aditivo à base de policarboxilato (ASH35). Nesta idade mais elevada foi observado um desempenho melhor do concreto contendo aditivo AP121 principalmente para as relações a/c maiores acima de 0,42 e abaixo desta relação os desempenhos dos três aditivos foram bastante aproximados em termos de resistência à compressão axial.

#### 4.8 Resistência à tração na flexão

Os resultados das resistências à tração na flexão dos concretos com relação a/c = 0,5 aos idade de 28 dias de idade são apresentados na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Resistências à tração na flexão com idade de 28 dias.

Tipo de aditivo	Resistências à tração na flexão (MPa)	
	AP121	5,83
AM300	6,10	6,55
ASH35	5,02	4,71

O resultado obtido neste ensaio foi uma maior resistência à tração na flexão no concreto com aditivo de base mista (policarboxilato e lignosulfonato) AM300. O Slump deste foi de 120 mm, ou seja, o maior dos três, e talvez por isso tenha ocorrido melhor adensamento e conseqüentemente melhor resistência à tração.

#### 4.9 Módulo estático de elasticidade ( $E_{ci}$ )

Os resultados dos ensaios de módulos estáticos de elasticidade dos concretos com relação  $a/c = 0,5$  são apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Módulos de elasticidade dos concretos com idade de 28 dias.

Módulo de elasticidade - 28 dias de idade				
Tipo de aditivo	Resultado (GPa)			
	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA
Adi-poli 121	4,28	27,04	29,58	28,31
Adi-poli Mix 300	28,61	32,93	36,11	32,55
Adi-Super H35	29,48	19,18	24,46	24,37

Os Anexos A, B e C mostram as curvas dos ensaios de módulo de elasticidade ilustrando os carregamentos e descarregamentos em função do tempo.

Observa-se que um dos corpos de prova utilizados no ensaio de módulo de elasticidade no concreto com aditivo AP121 ficou muito fora do padrão observado nos resultados da Tabela 4.15 e desconsiderado para fins de comparação dos resultados.

O concreto com aditivo AM300 apresentou o melhor resultado de módulo de elasticidade (36,11 GPa) nos ensaios corroborando o resultado de tração na flexão que também foi maior para o concreto contendo aditivo AM300. Provavelmente este melhor desempenho pode ser explicado pelo melhor desempenho da matriz da pasta de cimento e pela maior densidade da zona de transição interfacial desta com o agregado já que os agregados, o fator  $a/c$  e as condições de ensaio são as mesmas para os três aditivos.

#### 4.10 Absorção, índice de vazios e massa específica

Os resultados dos ensaios de absorção para a relação  $a/c = 0,5$  e idade de 28 dias são apresentados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Absorção, índice de vazios e massa específica dos concretos com idade de 28 dias.

TRAÇO/ (A/C)	Absorção (%)		Índice de vazios (%)		Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )		Massa específica saturada (g/cm <sup>3</sup> )		Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	
	CP's	Média	CP's	Média	CP's	Média	CP's	Média	CP's	Média
HS35/ 0,50	1,18	1,15	2,63	2,65	2,234	2,31	2,260	2,34	2,295	2,38
	1,12		2,67		2,393		2,419		2,458	
AM300/ 0,50	1,09	1,07	2,47	2,43	2,263	2,27	2,288	2,30	2,321	2,33
	1,04		2,38		2,283		2,307		2,339	
AP121/ 0,50	0,79	0,79	1,85	1,84	2,336	2,34	2,354	2,35	2,380	*
	0,78		1,83		2,336		2,354		2,379	

\*2,38 – resultado descartado por estar fora dos padrões esperados.

Os resultados de absorção e índice de vazios mostram uma redução de aproximadamente 31% no concreto contendo aditivo à base de policarboxilato (ASH35) quando comparado com o concreto contendo somente aditivo à base de lignosulfonato (AP121). Menores resultados de absorção e índice de vazios são desejáveis sob o aspecto da durabilidade dos concretos.

Os resultados de massa específica real mostram um aumento no concreto contendo aditivo à base de policarboxilato (ASH35) quando comparado com o concreto contendo somente aditivo à base de lignosulfonato (AP121).

#### 4.11 Avaliação dos resultados obtidos para os concretos com relação $a/c = 0,5$

Primeiramente serão comparados os resultados apresentados para os concretos com  $a/c = 0,50$  e serão correlacionados estes resultados com a menor ou maior presença de policarboxilato nos aditivos químicos utilizados, que correspondem a

um maior ou menor consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto. A Tabela 4.17 mostra um resumo dos melhores resultados de cada um dos ensaios laboratoriais dos concretos com a/c = 0,50.

Tabela 4.17 – Resultados dos ensaios laboratoriais para a relação a/c = 0,50.

Aditi- vo	Abatimento (mm)		Teor de ar inc. (%)	Tempo de início e fim de pega (horas)		Resist. Comp. (28 dias) (MPa)	Resist. tração na flexão (28 dias) (MPa)	Módulo de elast. (28 dias) (GPa)	Absor- ção (%)	Índice de vazios (%)	Massa espec. (real) (g/cm <sup>3</sup> )
	inicial	final		início	fim						
AP121	115	65	1,5	09:00	13:00	45,5	5,83	27,04	1,18	2,63	2,295
						46,4	5,91	29,57	1,12	2,67	2,458
AM300	120	70	3,5	07:00	11:00	37,6	6,1	32,93	1,09	2,47	2,321
						37,3	6,55	36,11	1,04	2,38	2,339
ASH35	110	40	3,0	05:30	10:30	43,5	5,02	19,18	0,79	1,85	2,380
						43,3	5,71	24,46	0,78	1,83	2,379

Em relação à manutenção do abatimento dos concretos pode-se observar que quanto maior a presença do policarboxilato no aditivo químico maior é a perda de abatimento (*slump*), sendo essa uma propriedade indesejável na maioria dos concretos. A perda de abatimento acentuada pode ser uma característica indesejada na produção de vários tipos de concretos, como os produzidos em larga escala em usinas dosadoras, devido ao fato de que são transportados em caminhões até o local de aplicação e o tempo de transporte elevado, devido ao trânsito congestionado ou às distâncias elevadas. Esses fatores podem levar à necessidade de correção do abatimento do concreto no momento de sua aplicação na obra, fato esse que elevaria a relação água/cimento e, conseqüentemente, reduziria a resistência à compressão axial dos mesmos, dentre outras características que poderiam ser afetadas negativamente. Uma

forma de reduzir a perda de abatimento é a incorporação de retardadores de pega conjuntamente aos aditivos à base de policarboxilato.

Quanto aos tempos de início e fim de pega pode-se observar que quanto maior a presença de policarboxilato nos aditivos, estes tempos foram reduzidos (em até 3:30h) quando comparamos o concreto contendo aditivo a base de lignosulfonato. A redução do tempo de início de pega pode ser desejável em algumas técnicas de aplicação de concreto, como concretos projetados, por exemplo, porém na maioria dos concretos a redução do tempo de pega reduz o tempo disponível para transporte, aplicação e cura do concreto, principalmente em climas quentes e secos.

Quanto ao teor de ar incorporado, os concretos contendo aditivo AM300 (base mista - lignosulfonato e policarboxilato) e o ASH35 (base policarboxilato), apresentaram um teor de ar incorporado mais elevado, 3,5% e 3,0% respectivamente, quando comparados com o concreto com aditivo AP121 (base de lignosulfonato) que incorporou apenas 1,5% de ar. Provavelmente estes resultados podem ser explicados pela presença de surfactantes etoxilados na composição química dos aditivos que, quando associados aos polímeros, tendem a incorporar mais ar.

As resistências à compressão axial aos 28 dias foram reduzidas à medida que aumentava-se a presença do policarboxilato nos aditivos químicos. Esses resultados podem estar relacionados com a redução do consumo de cimento por  $m^3$  de concreto para uma mesma relação a/c. Do ponto de vista da sustentabilidade a redução do consumo de cimento por  $m^3$  de concreto é bastante desejável. Cabe avaliar se a redução de cimento pode ser tão significativa a ponto de compensar a perda de resistência à compressão do ponto de vista do custo unitário de produção do concreto.

Quanto à resistência a tração na flexão, o resultado atingiu 6,55 MPa no concreto contendo aditivo AM 300 (AI = 3,5%). Porém, nos concretos com aditivos AP121

(AI = 1,5%) e AS H35 (AI = 3,0%) os resultados foram de 5,91 e 5,71 MPa respectivamente.

O módulo de elasticidade foi maior no concreto contendo aditivo AM 300. Porém, nos concretos com aditivos AP121 e AS H35, os resultados se comportaram da mesma forma que os de resistência à tração na flexão, ou seja, foram menores para o H35 e maiores para o AP121.

Já a absorção e o índice de vazios diminuíram consideravelmente com a presença maior de policarboxilato no aditivo, ou seja, foi menor quando reduziu a quantidade de água e o consumo de cimento por m<sup>3</sup> de concreto para uma mesma relação a/c. Isto mostra que o aumento da absorção e do índice de vazios está mais relacionado com a quantidade de água na dosagem do concreto do que com a presença de ar incorporado, já que os concretos com aditivo contendo policarboxilato podem incorporar mais ar. Estes resultados sugerem que os concretos contendo PCE serão mais duráveis, quando comparados com aqueles contendo somente aditivos à base de lignosulfonato, para uma mesma relação a/c, já que serão menos permeáveis à água significando uma menor penetração de íons agressivos do meio.

Quanto à massa específica real dos concretos os resultados mostraram que foi maior nos concretos com aditivo AP121 e ASH35 e menor no AM300.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados pode-se concluir que:

O concreto contendo somente aditivo superplastificante apresentou uma manutenção de abatimento menor que os demais reafirmando o que se observa na prática durante concretagens, principalmente quando os concretos são aplicados utilizando equipamentos de bombeamento. Este resultado dificulta a utilização destes aditivos por empresas de concretagem quando não for exigido pela especificação do tecnologista de concreto já que, geralmente, o tempo de transporte e aplicação do concreto na obra é elevado devido às condições do trânsito e outros fatores. Normalmente estes aditivos devem conter retardadores de pega para se obter maior manutenção do *Slump*.

O ar incorporado foi menor no concreto contendo somente aditivo à base de lignosulfonato. Porém, ressalta-se que, nos aditivos à base de polímeros, de acordo com os resultados obtidos para as propriedades mecânicas, a maioria dos poros provavelmente permaneceram incomunicáveis, o que não comprometeria a durabilidade do concreto.

O início e fim de pega dos concretos foram reduzidos à medida que era mais presente os polímeros nos aditivos, reforçando a menor viabilidade para utilização em produção de larga escala.

As resistências à compressão axial foram muito próximas para os três aditivos principalmente com idade de 63 dias não havendo nenhum que se apresentasse com um desempenho muito superior que outro. Cabe ressaltar que os consumos de cimento eram menores quando a presença do policarboxilato era maior. Estas resistências, quando comparadas utilizando as curvas de Abrams, mostram que, provavelmente, em termos de custo unitário de produção, abaixo de um determinado fator  $a/c$ , seja mais viável utilizar o aditivo HS 35, entre este fator  $a/c$  e um outro maior seja mais viável utilizar o aditivo AM 300, e acima deste fator  $a/c$  seja mais viável a utilização do aditivo AP 121.

A resistência à tração na flexão foi menor no concreto contendo aditivo à base de policarboxilato (HS35) e intermediária no concreto contendo aditivo de base lignosulfonato. O maior resultado, de 32,55 GPa, foi obtido no concreto contendo aditivo de base mista (AM300), talvez por apresentar um melhor desempenho na matriz de cimento da zona de transição interfacial (matriz x agregado) e não pelo fato do aditivo químico conter polímero.

O módulo estático de elasticidade também foi melhor no concreto contendo aditivo AM 300 de base mista, intermediário do de base lignosulfonato e menor no à base de policarboxilato. Já que a relação a/c, o agregado, as condições de ensaio foram as mesmas para todos os concretos, certamente o melhor desempenho da matriz de cimento na zona de transição interfacial (matriz x agregado) está relacionado com o melhor desempenho do concreto contendo aditivo de base mista (lignosulfonato e policarboxilato).

A absorção e índice de vazios foi menor no concreto contendo aditivo à base de policarboxilato observando-se uma redução de 31% quando comparado com o concreto contendo aditivo de base lignosulfonato. A massa específica real também foi melhorada com a presença do superplastificante no aditivo.

## 6. SUGESTÕES PARA NOVOS ESTUDOS

Como os resultados apresentados nesta pesquisa mostraram que a redução dos consumos de cimento por  $m^3$  levaram a uma redução de resistência à compressão axial dos concretos com a mesma relação a/c, é recomendável estudar, para diferentes regiões do Brasil, como irão se comportar os custos unitários de produção dos concretos para atender determinadas resistências à compressão axial, em determinadas idades, principalmente aos 28 dias ( $f_{c28}$ ).

Pode-se ainda variar o tipo de cimento para comparar o desempenho mecânico dos concretos produzidos com os diferentes aditivos utilizados nesta pesquisa, bem como avaliar o comportamento da microestrutura destes concretos e, finalmente, comparar as características ligadas à sua durabilidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Panorama e tendências técnico-mercado-lógicas do setor de concreto*. ABCP, São Paulo, 2013, 92 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2014).

\_\_\_\_\_. *NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos* (ABNT, 2010).

\_\_\_\_\_. *NBR NM 9: Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 46: Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 47: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico*. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR 5738: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto*. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão- deformação*. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 10342: Concreto – Perda de abatimento - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. *NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. *NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação*. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

AIAD, I. *Influence of time addition of superplasticizers on the rheological properties of fresh cement pastes*. Cement and Concrete Research, v. 33, 2003. p. 1229-1234.

BEUSCHAUSEN, H.; ANGELUCCI, M. *Minimização do teor de agente aglutinante para uma melhor durabilidade*. Fábrica de Concreto Internacional, 2014, 178 p.

CSN CIMENTOS S.A – Laboratório de Controle de Qualidade, Certificado de Ensaio Físicos e Químicos de Cimento de abril de 2015, Fábrica de Moagem Volta Redonda, Rodovia BR 393 Km 5001, Volta Redonda – RJ.

DU, L.; FOLLIARD, K.J. *Sustainable Development using controlled low-strength Material. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Department of civil, Construction and Environmental engineering, Iowa State University, Beijing, China, 2004. 359p.

HARTMANN, C.T.; HELENE, P.R.L. *Avaliação de Aditivos Superplastificantes base Policarboxilatos Destinados a Concretos de Cimento Portland*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2003. 22p.

HARTMANN, C.T.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. *Aditivos químicos para concreto*. In: ISAIA, G.C. (Ed.) *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: Ibracon, 2011. p.347-380.

HELENE, P. R. *et al. Análise Do Módulo De Elasticidade Estático E Dinâmico Para Diferentes Dosagens De Concreto*. In: IBRACON 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013. 13p.

KIHARA, Yushiro; CENTURIONE, Sérgio Luiz. *O Cimento Portland*. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 10, p. 295-321.

KOLIAS, S.; GEORGIU, C. *The effect of paste volume and water content on strength and absorption of concrete*. Cement & Concrete Composites - 27, 2005. 211-216.

LIMA, J.A.R. *Avaliação das Consequências da Produção de Concreto no Brasil Para as Mudanças Climáticas*. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção

Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo: 2010. 129p.

LYRA, J.S. *Estudo da Influência de Policarboxilato Comercial na Hidratação, Reologia e Físico-Química de Superfície de Cimento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo: 2010. 99p.

MARTIN, J.F.M. *Aditivos para concreto*. In: ISAIA, G.C. (Ed.) *Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: Ibracon, 2005. p.381-406.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto – estrutura, propriedades e materiais*. 2. Ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2014. 751p.

MIKANOVIC, N; JOLICOEUR, C. *Influence of superplasticizers on the rheology and stability of limestone and cement pastes*. Cement and Concrete Research, v. 38, 2008. p. 907-919.

MONTE, R. *Avaliação de metodologias de ensaio destinadas à verificação da eficiência de aditivos superplastificantes em pastas de cimento Portland*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo: 2003. 102p.

MELO NETO, A.; HELENE, P. R. *Módulo de Elasticidade: Dosagem e avaliação de Modelos de Previsão do Módulo de Elasticidade do Concreto*. In. IBRACON 44º Congresso Brasileiro do Concreto, 2002.

Portal do concreto “*Concreto – Teor de Ar Pelo Método Pressométrico*”  
[http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/dosagem\\_4.html](http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/dosagem_4.html)

ROMANO, R.C.O. *Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil*. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROUQUEROL, J.; AVNIR, D.; FAIRBRIDGE, C. W.; EVERETT, D. H.; HAYNES, J. H.; PERNICONE, N.; RAMSAY, J. D. F.; SING, K. S. W e UNGER, K. K. *Recommendations for the characterization of porous solids*. Physical Chemistry Division, International Union of Pure and Applied Chemistry, England, 1994.

SANTOS, A. M.; MONTEIRO, E. B.; CABRAL, L. M. C.; HELENE, P. R. *Análise do Módulo de Elasticidade Estático e Dinâmico para Diferentes Dosagens de Concreto*. In. IBRACON 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.

SANTOS, A. M.; CABRAL, L. M. C.; MONTEIRO, E. B.; HELENE, P. R. *Análise do Módulo de Elasticidade Estático e Dinâmico para Diferentes Dosagens de Concreto*. In: IBRACON 55º Congresso Brasileiro do Concreto, 2013.

SOARES, J.B. *Potencial de Conservação de Energia e de Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa para a Indústria Brasileira de Cimento*

*Portland até 2015*. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 1998. 148p.

TAYLOR, M.; TAM, C.; GIELEN, D. *Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> emissions from the global cement industry*. IEA (Energy Technology Policy Division), 2006, 12p.

TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry*. Academic Press Ltd. London, 1997, 459p.

WASSERMAN, R.; KATZ, A.; BENTUR, A. *Minimum Cement Content Requirements: a must or a myth?*. *Materials and Structures* - 42, 2009. 937-982.

WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *The Cement Sustainability Initiative. Cement – At the foundation of sustainable development*. WBCSD, 2007, 8p. Disponível em [www.wbcscement.org/](http://www.wbcscement.org/). Acesso em 14 de maio de 2016.

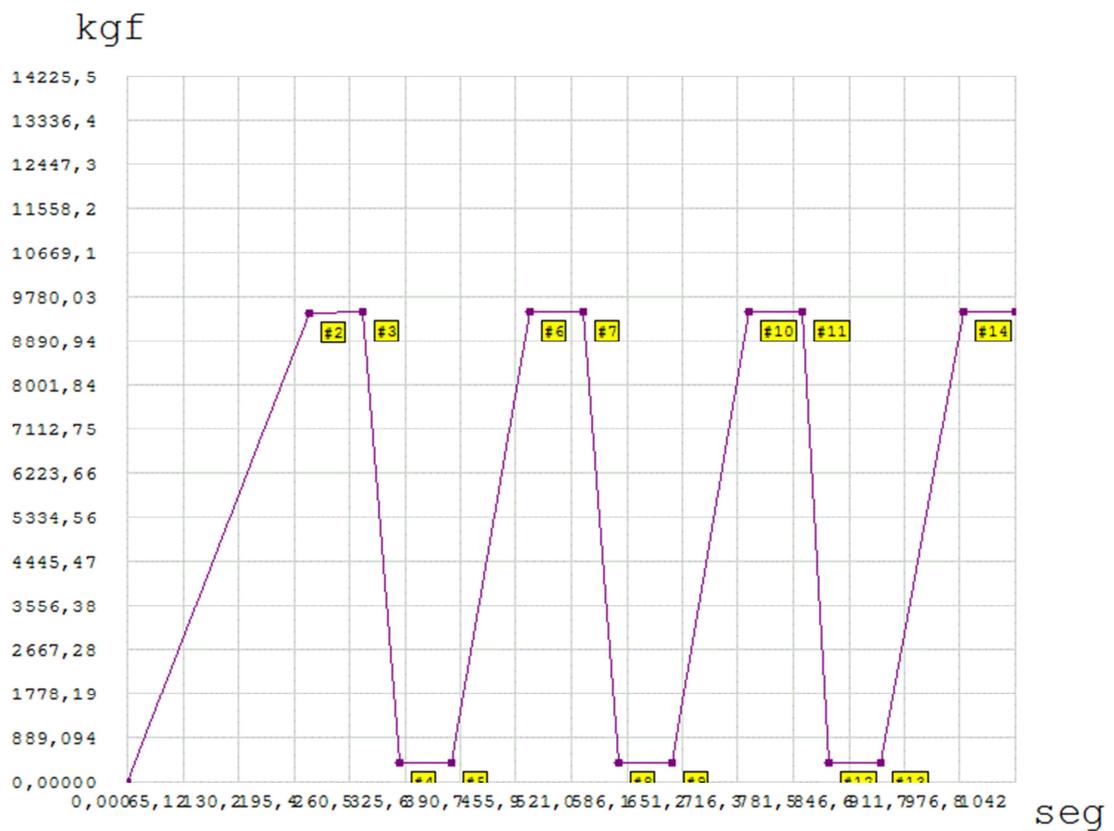
## ANEXOS

### Anexo A – Resultado do Módulo de Elasticidade – Concreto com a/c 0,50 e aditivo Adi-poli 121

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 9483 kgf

Tensão máxima: 11,84 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-poli 121

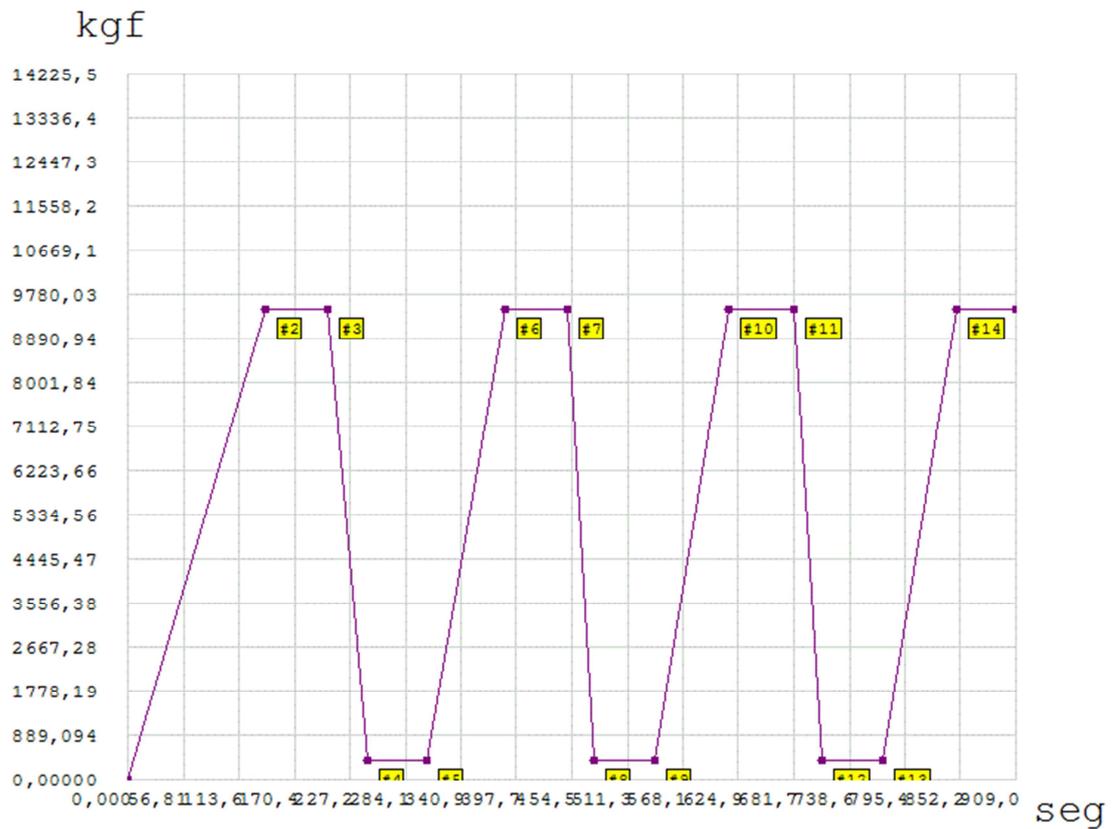
Relação a/c: 0,50

CP 01

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 9483 kgf

Tensão máxima: 11,84 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-poli 121

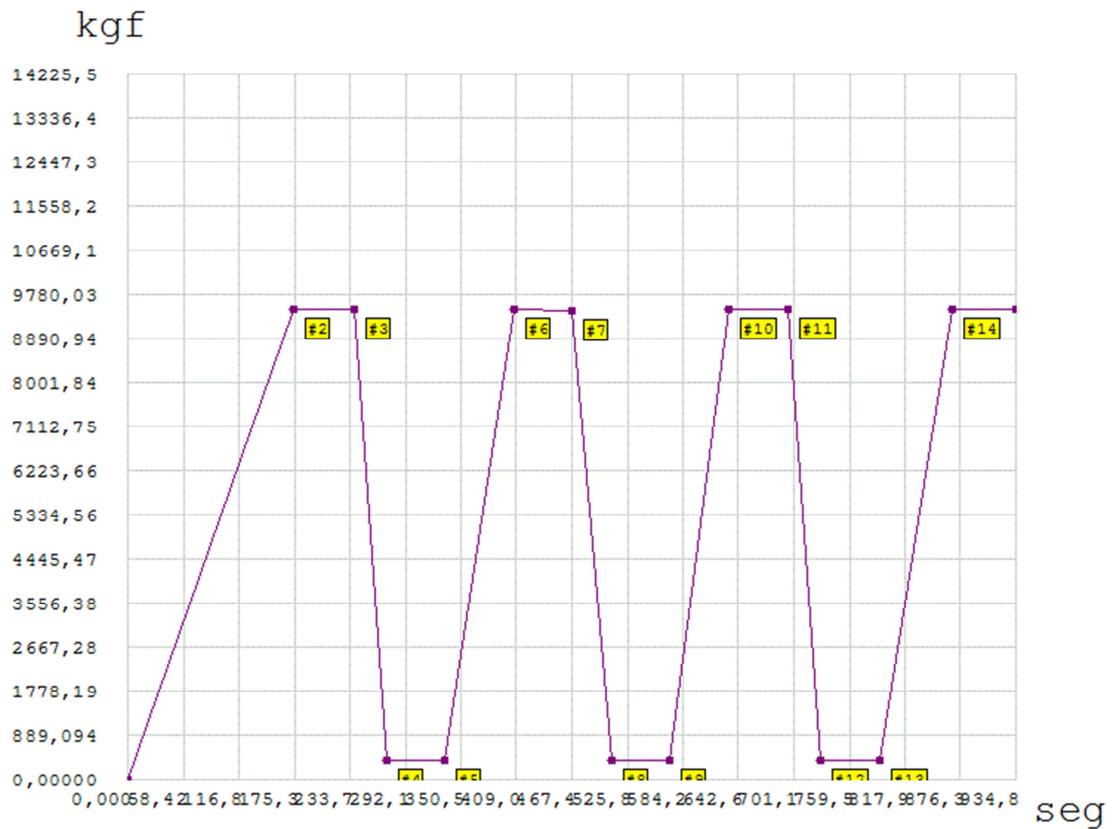
Relação a/c: 0,50

CP 02

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE  
FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio

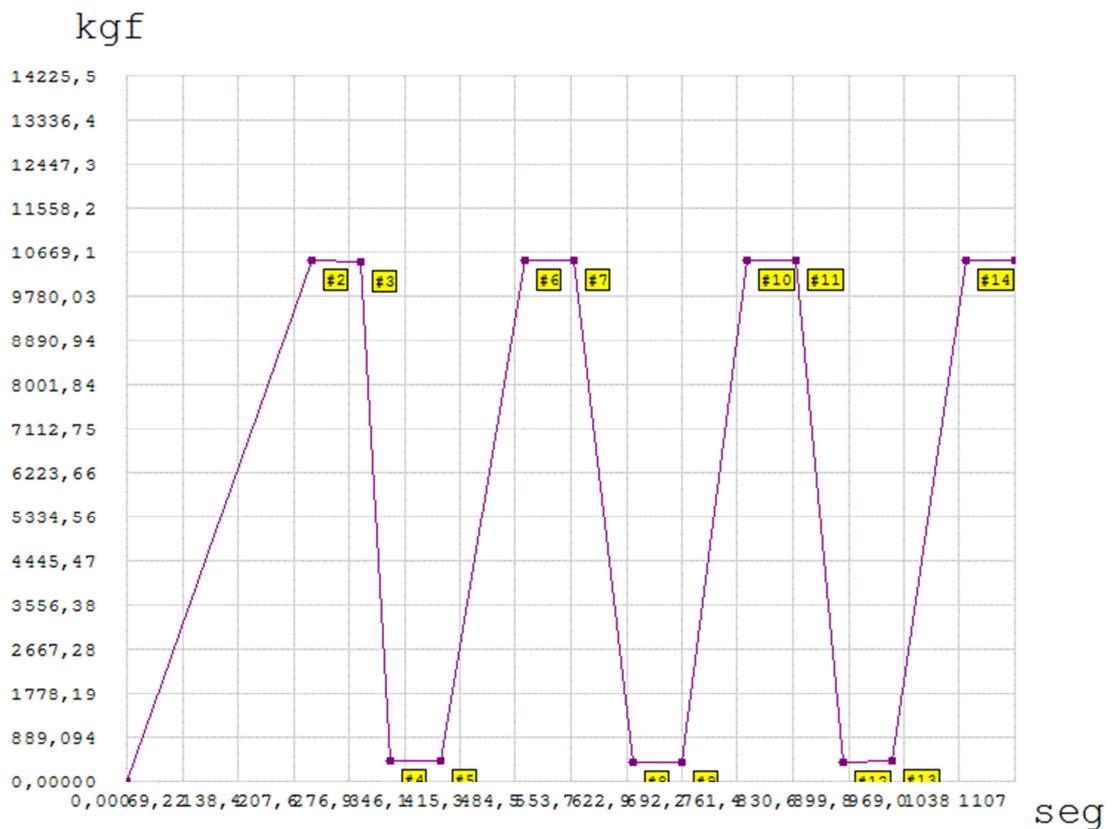


## Anexo B – Resultado do Módulo de Elasticidade – Concreto com a/c 0,50 e aditivo Adi-mix 300

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 10513 kgf

Tensão máxima: 13,13 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-mix 300

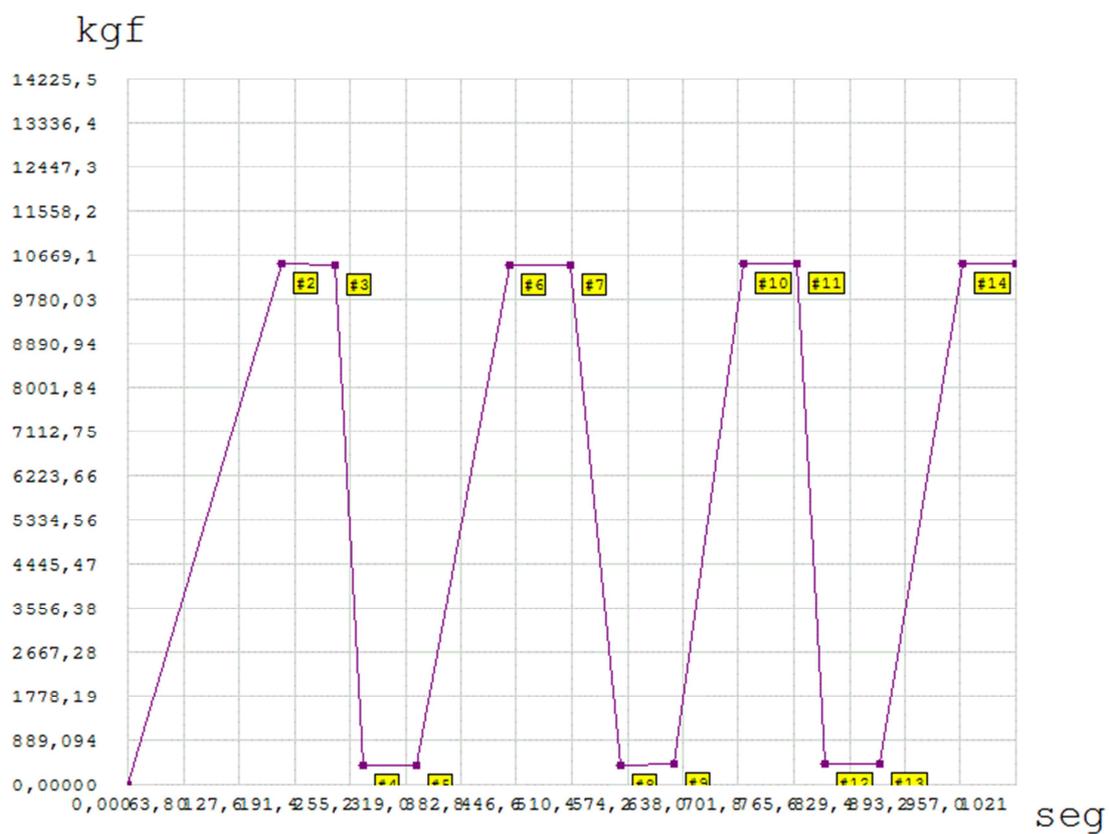
Relação a/c: 0,50

CP 01

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 10636 kgf

Tensão máxima: 13,28 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-mix 300

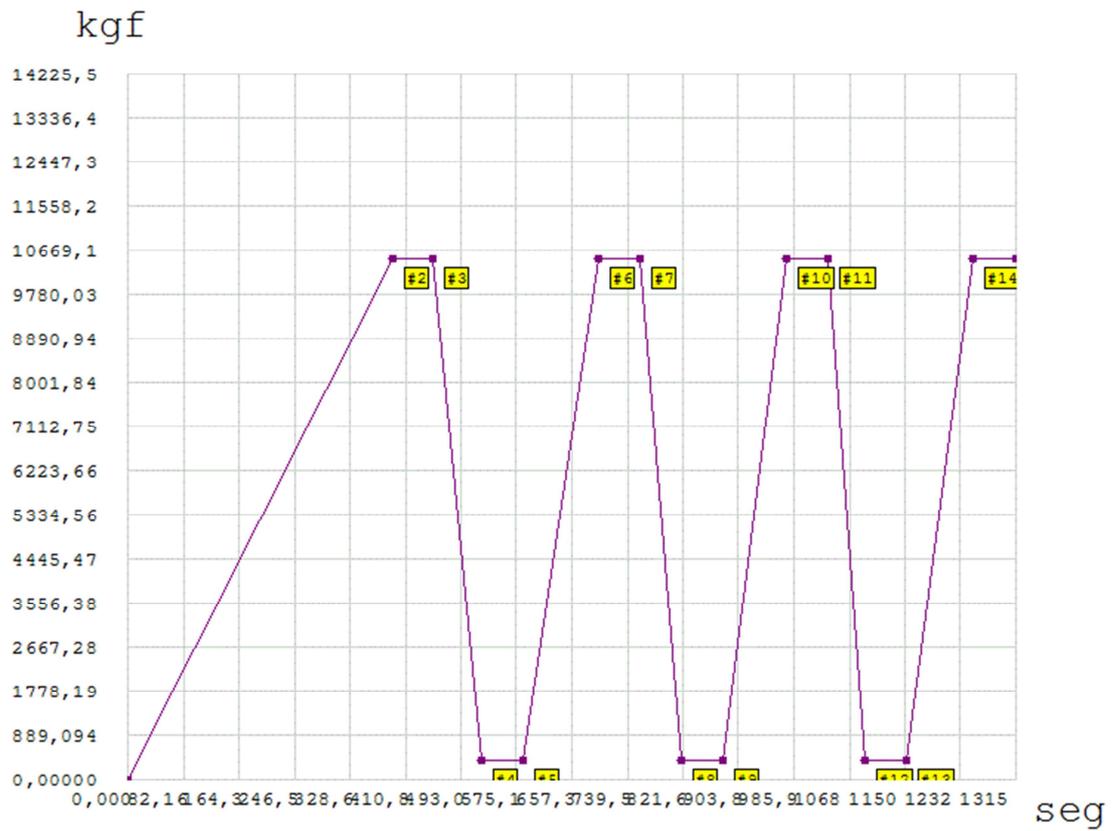
Relação a/c: 0,50

CP 02

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 10493 kgf

Tensão máxima: 13,10 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-mix 300

Relação a/c: 0,50

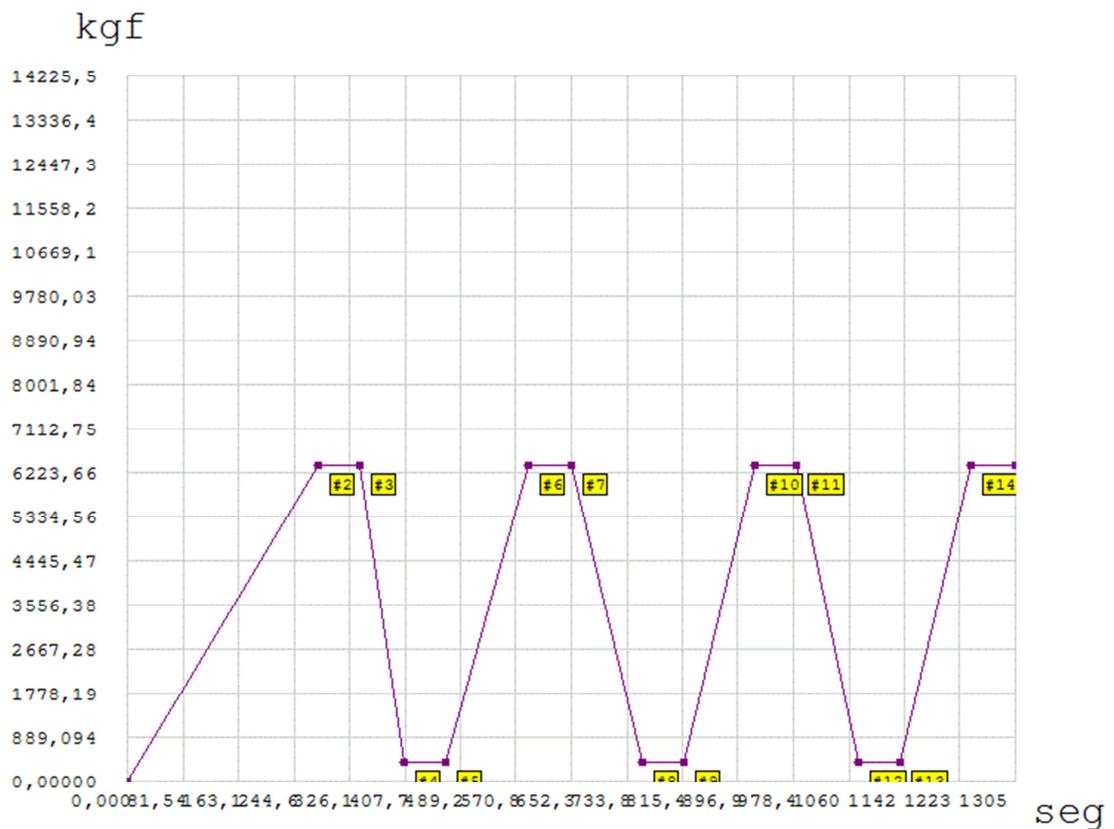
CP 03

## Anexo C – Resultado do Módulo de Elasticidade – Concreto com a/c 0,50 e aditivo Adi-super H35

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 6383 kgf

Tensão máxima: 7,97 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-super H35

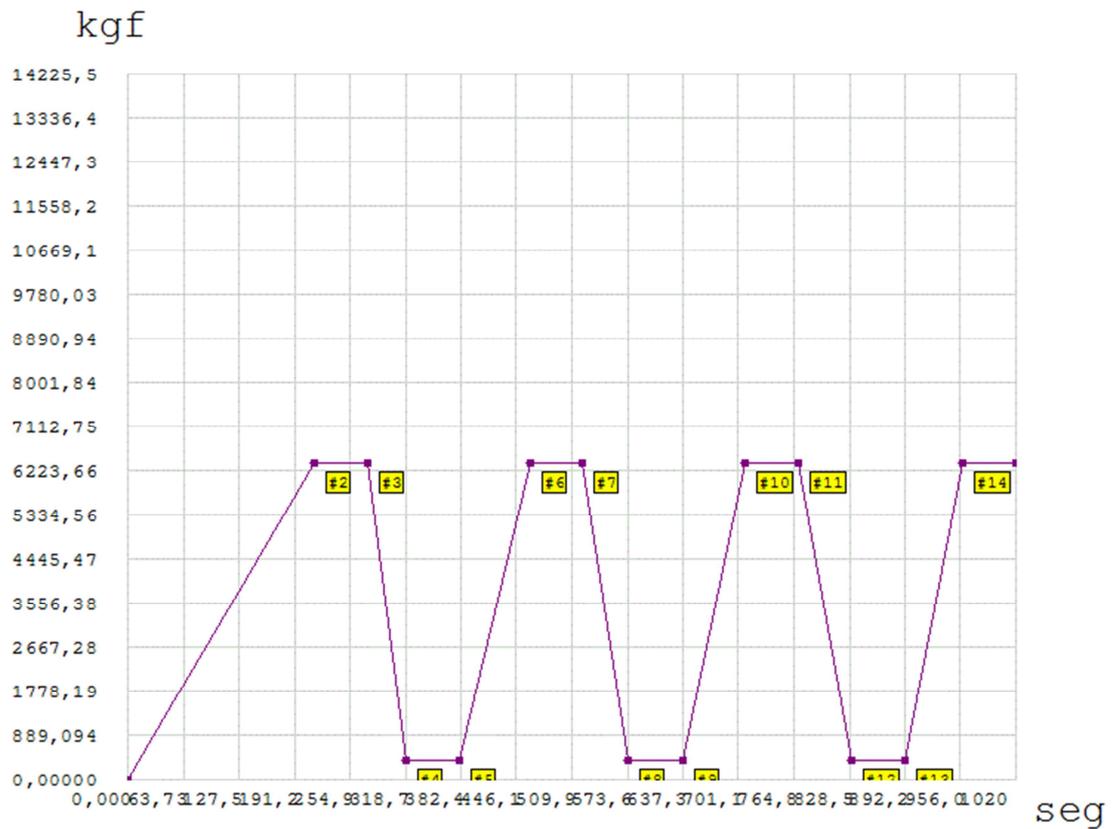
Relação a/c: 0,50

CP 01

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

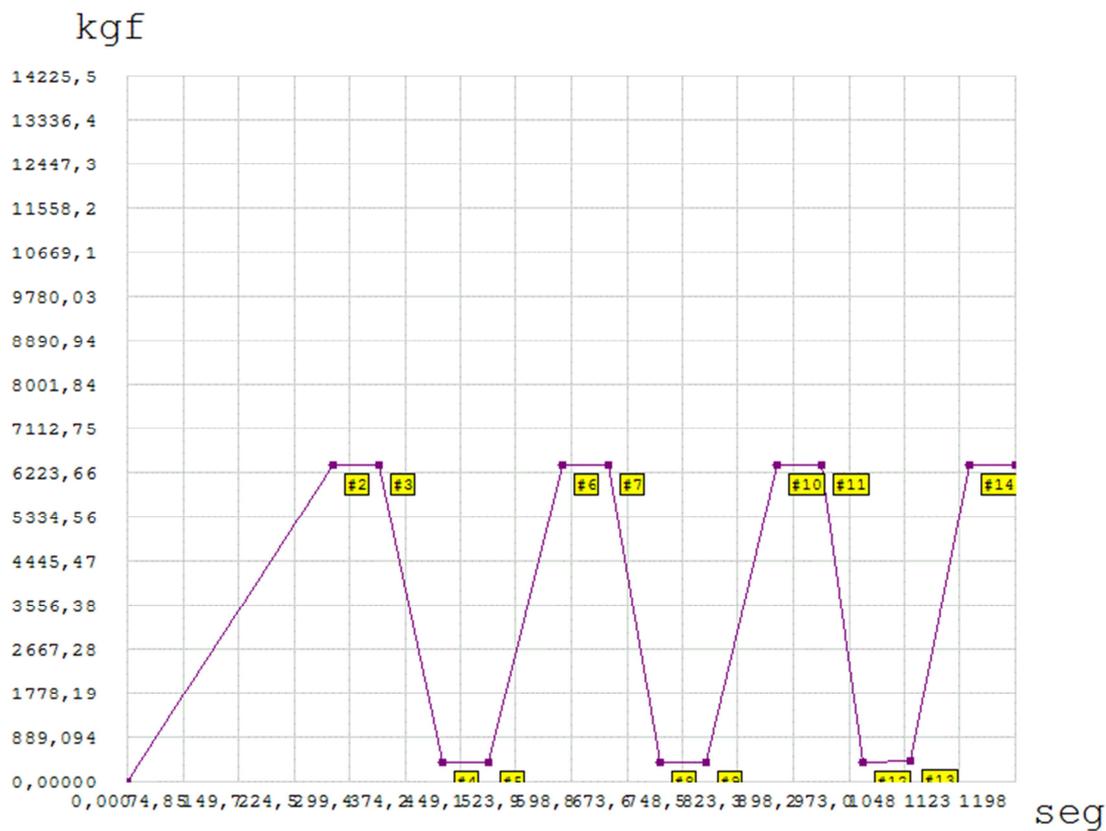
Relatório de ensaio



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA - UFJF

LABORATÓRIO DE MATERIAIS

Relatório de ensaio



Força máxima (Fm): 6414 kgf

Tensão máxima: 8,01 MPa

Área (S0): 7854,0 mm<sup>2</sup>

Aditivo: Adi-super H35

Relação a/c: 0,50

CP 03

## Anexo D – Ficha técnica do aditivo AP121

Função: AP121 pertence a uma linha de aditivos plastificantes de caráter polifuncional. São produtos desenvolvidos para afetar a tensão superficial da água e apresentar pronunciado efeito dispersante sobre o cimento. Deve ser utilizado quando se deseja proporcionar ao concreto características de maior plasticidade e manutenção prolongada. Pode atender à diversas condições de temperatura, variadas composições do concreto e aplicações diversas. São compatíveis com a maioria dos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado, e é indicado para a fabricação de concretos plásticos convencionais, dosados em central, pré-moldados e protendidos. São aditivos líquidos, prontos para uso, isento de cloretos e atendem aos requisitos na NBR 11768.

### Benefícios:

- Ideal para concretos dosados em central / Redução da água de mistura.
- Concretos com manutenção prolongada.
- Aumenta a coesão / Diminui a segregação, melhora o bombeamento e lançamento.
- Melhora o adensamento e o acabamento do concreto.
- Aumento das resistências finais.
- Redução dos picos térmicos, redução da retração e consequente fissuração.
- Redução da permeabilidade e aumento da durabilidade.
- Redução de custos e do tempo de produção e aplicação do concreto.

Aplicação: AP121 deve ser adicionado diretamente no concreto após a mistura inicial dos componentes (inclusive a água), ou adicionado à parcela final da água de amassamento. Recomenda-se a execução de ensaios prévios de laboratório para a determinação da dosagem ideal de aditivo. Pode ser utilizado juntamente com outras linhas de aditivos da ADITIBRAS, desde que seja recomendado pelo departamento técnico da empresa e os aditivos sejam adicionados separadamente ao concreto.

Embalagem / Estocagem / Validade: AP121 é fornecido a granel, em bombonas plásticas ou tambores de 200L. Deve ser estocado em suas embalagens originais e intactas em local protegido do sol, ventilado e seco. Seu prazo de validade é de 06 meses a partir da data de sua fabricação.

Recomendações de Segurança: Ao manusear o aditivo AP121 deve-se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's): luvas, óculos de segurança, máscara e avental. Não ingerir o produto. Evitar o contato com os olhos e a pele. Procurar um médico em caso de sintomas de irritação ao produto. Antes de utilizar este produto, recomenda-se consultar a sua FISPQ.

Indicações técnicas, dosagem recomendada e propriedades do aditivo AP121.

Aditivo	Indicações Técnicas	Dosagem	Propriedades		
			Aspecto / cor	pH	Massa específica
AP121	ADI-POLI 120 Alta plastificação com manutenção prolongada, controle sobre o tempo de pega e maior redução do ar incorporado. Aumenta as resistências inicial e final. ADI-POLI 121: Versão com menor desincorporação de ar.	300 a 1000 ml *	Líquido / Castanho Escuro	8,0 ± 1,0	1,160 ± 0,03 g/cm <sup>3</sup>

\* dosagem recomendada para cada 100 Kg de cimento

## Anexo E – Ficha técnica do aditivo AM300

Função: AM300 é um aditivo plastificante de caráter polifuncional. Possui tecnologia diferenciada para promover a prolongada manutenção da trabalhabilidade de um concreto. É um produto desenvolvido para afetar a tensão superficial da água e apresentar pronunciado efeito dispersante sobre o cimento por longo período sem causar retardamento de pega. O uso do AM300 é indicado para a fabricação de concretos plásticos convencionais, dosados em central, pré-moldados, protendidos, massa, entre outros. É compatível com maioria dos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado. É líquido pronto para uso, isento de cloretos e atende aos requisitos na NBR 11768.

### Benefícios:

- Ideal para concretos dosados em central / Redução da água de mistura.
- Concretos com manutenção prolongada sem causar retardamento.
- Incremento das resistências iniciais e finais.
- Reduz a necessidade de redosagem de água ou aditivos.
- Aumenta a coesão, diminui a segregação, melhora o bombeamento e lançamento.
- Melhora o adensamento e o acabamento do concreto.
- Redução dos picos térmicos, redução da retração e consequente fissuração.
- Redução da permeabilidade.
- Aumento da durabilidade.
- Redução de custos na produção de concreto.
- Redução do tempo de aplicação do concreto

Aplicação: O aditivo AM300 deve ser adicionado diretamente no concreto após a mistura inicial dos componentes (inclusive a água), ou adicionado à parcela final da água de amassamento. Recomenda-se a execução de ensaios prévios em laboratório para a determinação da dosagem adequada. O AM300 pode ser utilizado juntamente com outras linhas de aditivos da ADITIBRAS, desde que seja recomendado pelo departamento técnico da ADITIBRAS e os aditivos sejam adicionados separadamente ao concreto.

Embalagem / Estocagem / Validade: O aditivo AM300 é fornecido a granel, em bombonas plásticas ou tambores de 200L. Deve ser estocado em suas embalagens originais e intactas em local protegido do sol, ventilado e seco. Seu prazo de validade é de 06 meses a partir da data de sua fabricação.

Recomendações de Segurança: Ao manusear os aditivos da linha ADI-POLI deve-se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's): luvas, óculos de segurança, máscara e avental. Não ingerir o produto. Evitar o contato com os olhos e a pele. Procurar um médico em caso de sintomas de irritação ao produto. Antes de utilizar este produto, recomenda-se consultar a sua FISPQ.

Indicações técnicas, dosagem recomendada e propriedades do aditivo AM300.

Aditivo	Indicações Técnicas	Dosagem	Propriedades		
			Aspecto / cor	pH	Massa específica
AP121	Possui efeito de alta plastificação com manutenção moderada da trabalhabilidade. Aumenta as resistências iniciais e finais.	800 a 1600 ml*	Líquido / Castanho escuro	7,5 ± 1,0	1,100 ± 0,02 g/cm <sup>3</sup>

\* dosagem recomendada para cada 100 Kg de cimento

## **Anexo F – Ficha técnica do aditivo ASH35**

**Função:** ASH35 pertence a uma linha de aditivos superplastificantes do tipo II. É um aditivo de alta tecnologia, formulado a base de polímeros de éteres carboxílicos modificados, que agem sobre as partículas de cimento apresentando um altíssimo efeito dispersante, de onde se obtém concretos altamente fluidos com uma relação água/cimento extremamente baixa, longa manutenção e elevadas resistências mecânicas iniciais e finais. É compatível com todos os tipos de cimento Portland e é especialmente indicado para a fabricação de concretos auto-adensáveis, pré-moldados, protendidos, CAD, micro-concreto, fabricação de artefatos de cimento, concretagem de peças esbeltas e de difícil acesso ou com alta densidade de ferragens. É um produto líquido, pronto para uso, isento de cloretos e atende aos requisitos na NBR 11768.

**Benefícios:**

- Redução drástica da água de amassamento.
- Alta fluidez do concreto por tempo prolongado, sem retardar o tempo de pega do cimento.
- Melhora o bombeamento, lançamento e o adensamento.
- Aumenta a coesão e melhora o acabamento da superfície do concreto.
- Aumenta a aderência.
- Aumenta o módulo de elasticidade do concreto.
- Proporciona um grande aumento nas resistências mecânicas iniciais e finais do concreto, possibilitando a rápida desforma em baixa idade.
- Redução da permeabilidade.
- Aumento a durabilidade e prolongamento da vida útil das estruturas.
- Redução da retração e fissuras plásticas.

**Aplicação:** O aditivo ASH35 deve ser adicionado diretamente no concreto após a mistura inicial dos componentes (inclusive a água), ou adicionado à parcela final da água de amassamento. Nunca adicioná-lo sobre os materiais secos. O aditivo ASH35 necessita de um tempo mínimo para a sua ativação total, logo recomenda-se aguardar este tempo de mistura antes de fazer alguma adição extra de água. Recomenda-se a execução de ensaios prévios em laboratório para a determinação do teor ideal de aditivo no concreto. O aditivo ASH35 pode ser utilizado juntamente com outras linhas de aditivos da ADITIBRAS, desde que recomendada pela assistência técnica da ADITIBRAS e adicionados separadamente ao concreto.

**Embalagem / Estocagem / Validade:** O aditivo ASH35 é fornecido a granel, em bombonas plásticas ou tambores de 200L. O aditivo ASH35 deve ser estocado em suas embalagens originais em local protegido do sol, ventilado e seco. O prazo de validade do aditivo ASH35 é de 06 meses a partir da data de sua fabricação.

**Recomendações de Segurança:** Ao manusear os aditivos da linha ASH35 deve-se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's): luvas, óculos de segurança, máscara e avental. Não ingerir o produto. Evitar o contato com os olhos e a pele. Procurar um médico em caso de sintomas de irritação ao produto. Antes de utilizar algum produto da linha ASH35, recomenda-se consultar a sua FISPQ.

Indicações técnicas, dosagem recomendada e propriedades do aditivo ASH35.

Aditivo	Indicações Técnicas	Dosagem	Propriedades		
			Aspecto / cor	pH	Massa específica
AP121	Possui elevado efeito superplastificante com manutenção moderada da trabalhabilidade. Possibilita a obtenção de altas resistências iniciais e finais.	300 a 1200 ml*	Líquido / Castanho Claro	5,5 ± 1,0	1,080 ± 0,02 g/cm <sup>3</sup>

\* dosagem recomendada para cada 100 Kg de cimento