CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Mikaely Martins de Oliveira

ESTUDO EXPERIMENTAL DA ARGAMASSA AUTONIVELANTE PARA CONTRAPISOS

Palmas – TO
2016/2

Mikaely Martins de Oliveira

ESTUDO EXPERIMENTAL DA ARGAMASSA AUTONIVELANTE PARA CONTRAPISOS

Monografia elaborada e apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalha de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc Fabrício Bassani dos Santos

Palmas – TO

2016/2

Mikaely Martins de Oliveira

ESTUDO EXPERIMENTAL DA ARGAMASSA AUTONIVELANTE PARA CONTRAPISOS

Monografia elaborada e apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalha de Conclusão de Curso em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Fabrício Bassani dos Santos

Aprovada em 09 de novembro de 20016.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. M.Sc.. Fabrício Bassani dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas

_____

Prof. Esp. Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas

_____

Prof. M.Sc. Fabio Henrique de Melo Ribeiro

Centro Universitário Luterano de Palma

DEDICATÓRIA

A Deus, que me capacita para todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus meu bom pai celestial, que me acompanhou e me tornou uma pessoa capaz para a realização deste trabalho, guiando meus passos por todos os meus caminhos.

Agradeço também ao meu orientador Prof. Fabricio Bassani por sua atenção e disponibilidade para me orientar sempre que precisei, por me repassar seus conhecimentos e acreditar em minha competência para conseguir realizar este estudo.

Agradeço também aos técnicos de laboratório Miller e João Pedro que me ajudaram durante a realização dos ensaios experimentais sempre que eu precisei.

RESUMO

OLIVEIRA, Mikaely Martins de. **Estudo experimental da argamassa autonivelante para contrapisos.** 2016. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ceulp/ulbra, Palmas, 2016.

A argamassa autonivelante é um material de elevada fluidez, e seu adensamento se dá apenas pela ação da gravidade, preenchendo vazios e dispensando mão de obra qualificada, seu resultado final é um piso homogêneo isento de falhas de regularização. O presente trabalho faz um estudo experimental das características físico-mecânico no estado fresco e endurecido da argamassa autonivelante para contrapisos por meio de testes laboratoriais. Tendo em vista que este tipo de material ainda é relativamente novo no Brasil e não possui norma técnicas que padronizem a confecção e aplicação deste tipo de mistura, esta pesquisa se baseou nas normas para argamassa do tipo convencional. Os materiais empregados para o estudo deste tipo de argamassa compreendem o cimento CP II E 32 devido ao seu uso em larga escala na construção civil, fácil acesso e por ser indicado para obras em geral inclusive de contrapisos. Utilizou-se também aditivo superplastificante a base de policarboxilatos, aditivo modificador de viscosidade e areia fina de rio. Realizou-se a caracterização dos materiais, em seguida dosagem empírica baseada em trabalhos referência e ficha técnica, encontrou-se a faixa “ótima” e realizaram-se testes finais a partir da faixa “ótima”. No estado fresco foi determinado o índice de consistência e a presença de segregação com uma adaptação do ensaio de Flow Table e no estado endurecido foi realizado o ensaio e resistência a compressão em duas idades distintas de 3 e 28 dias. No ensaio de determinação do índice de consistência no estado fresco foi possível notar a influência do aditivo na segregação e tempo de pega da mistura assim como a relação a/c. No ensaio de resistência a compressão no estado endurecido é possível notar a influência do aditivo nas idades inicias que não e notada nas idades mais avançadas. Assim como a influência de teores mais elevados no cimento para a fluidez e segregação da mistura.

Palavras chaves: Argamassa autonivelante, contrapiso, estado fresco, estado endurecido

ABSTRACT

OLIVEIRA, Mikaely Martins. **Experimental study of the self-leveling mortar for subfloors**. 2016. 86 f. TCC (Graduation) - Civil Engineering Course, Ceulp / ulbra, Palmas, 2016.

The self-leveling mortar is a high fluidity material, and its density is given only by gravity, filling voids and dispensing skilled labor, its end result is a homogeneous floor free of settlement failures. This work is an experimental study of the physical-mechanical characteristics of the fresh and hardened the self-leveling mortar for subfloors by laboratory tests. Considering that this type of material is still relatively new in Brazil and has no standard techniques to standardize the preparation and application of this type of mixture, this research was based on standards for the conventional type mortar. The materials used for the study of this type of mortar comprising the CP II cement and 32 due to its widespread use in construction, easy access and is suitable for building works including subfloors. It was also used the base superplasticizer additive polycarboxylates, viscosity modifier additive and fine river sand. There was the characterization of materials, and then empirical dosage based on reference works and technical specifications found if the "great" and were carried out final tests from the "great" point. In the fresh state it was determined consistency index and the presence of segregation an adaptation Flow Table assay and in the hardened state was performed and the test compressive strength at two different ages of 3 and 28 days. In the test for determining, the consistency index in the fresh state was possible to note the influence of the additive in segregation and mixing takes time as well as the w / c ratio. In the compressive strength test in the hardened state can notice the influence of the additive in the initial ages and not noticed at older ages. As the influence of higher content in cement to flow and segregation of the mixture.

Key words: Self-leveling mortar, subfloor, fresh, hardened state

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Corte do sistema/vedação horizontal interna segundo Fiorito 11

Figura 2 - Aplicação do contrapiso autonivelante.....13

Figura 3: Fluidez da argamassa autonivelante.....14

Figura 4 - Método Auto-Nivelante.....19

Figura 5 - (a) Área de estacionamento pronta para receber o contrapiso autonivelante industrial; (b) Área de estacionamento com o contrapiso autonivelante industrial aplicado. 20

Figura 6 - (a) Pavimento com colocação de manta acústica, para receber contrapiso autonivelante; (b) Pavimento com aplicação de contrapiso autonivelante, sobre manta acústica. 21

Figura 7- Principais constituintes do Cimento Portland 22

Figura 8 - Propriedades dos quatro principais componentes do cimento.....22

Figura 9 - Mecanismo de ação de um aditivo superplastificante a base de policarboxilatos.....25

Figura 10 - Influência de três tipos de areia sobre a tensão de cisalhamento da mistura de CAA quando em movimento, onde τ é a tensão de cisalhamento e Ϭ tensão normal.....28

Figura 11 - Fluxograma com a sequência da metodologia.....29

Figura 12 - Molde cilíndrico para corpos de prova 32

Figura 13 - Argamassadeira utilizada nos testes experimentais 38

Figura 14 - Processo de mistura dos materiais na argamassadeira.....39

Figura 15 - Mesa e cilindro utilizado para ensaio de consistência.....43

Figura 16 - Prensa utilizada no ensaio de resistência a compressão.....44

Figura 17 - Teste 1 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 46

Figura 18 -Teste 2 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 46
Figura 19 - Teste 3 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 47
Figura 20 - Teste 4 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 47
Figura 21 - Teste 5 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 48
Figura 22 -Teste 6 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 48
Figura 23 - Teste 7 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 49
Figura 24 - Teste 8 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 49
Figura 25 - Teste 9 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45) 50
Figura 26 - Teste 10 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..50
Figura 27 - Teste 11 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..51
Figura 28 - Teste 12 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..51
Figura 29 - Teste 13 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..52
Figura 30 - Teste 14 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..52
Figura 31 - Teste 15 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..53
Figura 32 - Teste 16 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..53
Figura 33 - Teste 17 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..54
Figura 34 - Teste 18 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50) ..54
Figura 35 - Teste 19 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..55
Figura 36 - Teste 20 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..55
Figura 37 - Teste 21 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..56
Figura 38 - Teste 22 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..56
Figura 39 - Teste 23 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..57
Figura 40 - Teste 24 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..57
Figura 41 - Teste 25 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..58
Figura 42 - Teste 26 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..58

Figura 43 - Teste 27 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55) ..59
Figura 44 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,00% 63
Figura 45 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,50% 64
Figura 46 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 2,00% 64
Figura 47 – Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,00% 67
Figura 48 – Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,50% 68
Figura 49 - Gráfico com variação de cimento para a/c 45 e SP 2,00% 68
Figura 50 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,50% 69
Figura 51 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,50 e SP 1,50% 69
Figura 52 – Gráfico variação de cimento para a/c 0,50 e SP 2,00% 70
Figura 66 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 1,50 79
Figura 67 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 2,00%..... 78
Figura 68 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,00%..... 79
Figura 69 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,50%..... 79
Figura 70 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 2,00%..... 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela comparativa de formas de fornecimento entre argamassas autonivelantes e argamassa dosada em obra. 16
Tabela 2 - Comparativo de Custos de Argamassas 18
Tabela 3 - Limites granulométricos de agregado miúdo 27
Tabela 4 – Determinação granulométrica do agregado miúdo 34
Tabela 5 - Faixa granulométrica do agregado miúdo de acordo com a NBR 7211 ... 34
Tabela 6- Características do aditivo superplastificante 36
Tabela 7 - Características do aditivo modificador de viscosidade 36
Tabela 8 - Quantitativo de materiais por m³ 37
Tabela 9 - Massa especifica dos materiais 38
Tabela 10 - Dosagem da fase experimental 39
Tabela 11 - Teores de materiais da terceira fase de testes experimentais 40
Tabela 12 - Combinações entre fatores e níveis 40
Tabela 13 - Quantificação de materiais para os testes experimentais finais 41
Tabela 14 - Diâmetros medidos no estado fresco 59
Tabela 15 - Analise do índice de consistência para teor de cimento 600 kg/m³ 60
Tabela 16 - Analise do índice de consistência para teor de cimento 700 kg/m³ 61
Tabela 17 - Analise do índice de consistência para teor de cimento 800 kg/m³ 61
Tabela 18 - Testes que tiveram retardamento da pega 62
Tabela 19 - Tabela com resultados de Resistência a compressão aos 3 dias 65
Tabela 20 - Tabela com resultados de Resistência a compressão aos 28 dias 74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
1.1 Problema de Pesquisa 8
1.2 Objetivos 9
***1.2.1 Objetivo Geral* 9**
***1.2.2 Objetivos Específicos* 9**
1.3 Justificativa 9
2 REFERENCIAL TEÓRICO 10
2.1 Sistemas de piso e contrapiso 10
2.2 Argamassa autonivelante 12
2.2.1 Histórico 14
2.2.2 Produção 15
2.2.3 Vantagens e desvantagens 16
2.2.4 Utilização 19
2.3 Materiais utilizados 21
2.3.1 Cimento 21
2.3.2 Aditivos 22
2.3.3 Agregado miúdo/Areia 26
3 METODOLOGIA 29
3.1 Classificação 29
3.2 Estudo de caso e métodos 30
3.3 Variáveis e parâmetros fixos 31
3.3.1 Determinação das variáveis e parâmetros fixos 31
3.4 Projeto de pesquisa experimental 32
3.4.1 Primeira fase: Caracterização dos materiais 33
3.4.2 Segunda fase: Testes experimentais 37
3.5 Ensaios realizados 42
3.5.1 Estado fresco 42
3.5.2 Estado endurecido 43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 45
4.1 Análise do estado fresco 45
4.1.1 Testes experimentais finais 45
4.2 Análise das propriedades no estado endurecido 65
4.2.1 Resistência a compressão aos 3 dias 65

4.2.2 Resistência a compressão aos 28 dias.....74
5 CONCLUSÕES.....83
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....85
REFERÊNCIAS.....86

1 INTRODUÇÃO

Rapidez, qualidade e durabilidade das obras são necessidades que se tornam cada vez mais constantes no ramo da construção civil. Com base nesses conceitos e tendo como objetivos soluciona-los é que surgem cada vez mais tecnologias voltadas para a otimização da produtividade, qualidade final e redução de custos. Em meio a essa realidade é que se deu origem ao desenvolvimento do contrapiso autonivelante, que é um tipo de piso onde a produtividade, ganho de tempo e qualidade são características notáveis.

Desenvolvida para constituir um sistema de contrapiso isento de falhas construtivas ocasionadas pela moldagem, à argamassa autonivelante é um sistema proveniente da combinação de materiais de construção. Além de dispensar mão de obra com extenso conhecimento e experiência. Para que possa executar basta uma mangueira de projeção e que a base esteja isenta de sujeiras (SOUZA; FERREIRA e AZEVEDO 2012).

Agilidade na execução, economia com mão de obra, baixo desperdício de material são vantagens do contrapiso autonivelante. No qual é um sistema construtivo composto por cimento modificado com polímeros e que proporciona elevados índices de planicidade e de nivelamento. A diminuição no tempo de construção de obras é umas das principais vantagens que levam as construtoras a adotar o sistema autonivelante para contrapiso em edifícios residenciais (FIGUEROLA, 2015).

Um sistema que é composto por cimento de alto desempenho, auto adensável, autonivelante, bambeável, monocomponente e que possui bastante fluidez este é o contrapiso autonivelante (CICHINELLI, 2012).

Uma argamassa de fácil aplicação, feita por bombeamento na qual dispensa desempeno, utilizada em pisos de áreas internas nas quais possuem menor intensidade de trafego. A argamassa autonivelante cria uma superfície plana, lisa e de acabamento fino, usada também para refazer e nivelar pisos já existentes ou novos, os quais alguns materiais são restritos a aplicação interna (CORSINI, 2015).

Em comparação com as argamassas convencionais a argamassa autonivelante tem como principal característica possuir uma elevada fluidez do sistema. Em relação à aplicação deste novo sistema de contrapiso, é feita com o auxílio de uma mangueira bombeada que espalha a argamassa por uma superfície plástica, em formas, moldes sem a necessidade de uma energia para esse

espalhamento. Outros pontos importantes e notáveis em relação a aplicação da argamassa autonivelante são: rapidez na aplicação, diminuição no cronograma de obra, redução de mão de obra para execução da argamassa, visto que o espalhamento da argamassa acontece devido ao seu próprio peso (MARTINS, 2009)

Ainda segundo MARTINS (2009) a argamassa autonivelante tem como benefício a possibilidade redução na espessura do contrapiso, com isso a pasta de cimento também sofre redução, ou seja o consumo de cimento diminui. Para pisos onde o fluxo de transito é baixo a espessura passará de 8,0 mm a 15 mm para 5,0 mm a 10 mm em média.

Um dos motivos pela procura para desenvolver uma tecnologia de sistema bambeável para execução de contrapiso foi à dificuldade encontrada para realização do transporte vertical, no qual geralmente é feito por meio de um elevador de cremalheira. O contrapiso autonivelante traz vantagens nessa etapa também, pois é transportado por meio de uma bomba acoplada, que transporta a argamassa até o pavimento na qual será projetada, isso dentro do limite da bomba, pois a maior dificuldade nesta fase construtiva é subir todos os materiais por meio de equipamentos de transporte vertical de material (EGLE, 2010).

Tendo em vista caracterização dos materiais, da execução e das propriedades físico-mecânicas de alguns traços desse tipo de argamassa usada para contrapisos, este trabalho tem o objetivo de realizar ensaios laboratoriais e explicitar a caracterização da argamassa autonivelante e suas propriedades.

1.1 Problema de Pesquisa

É importante ressaltar que para o uso das argamassas na construção civil, podem-se moldar *in loco* ou em concreteiras, onde algumas não executam exatamente a sua composição. Sabendo-se que no Brasil ainda não existe uma norma específica para a execução e aplicação de traços deste tipo de material construtivo, não se pode afirmar a existência de um passo a passo exato de composição e execução.

Com base nestes conceitos então, qual seria a melhor escolha de materiais e dosagem com condições de compor uma argamassa autonivelante para contrapiso de melhor qualidade?

1.2Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência do cimento na mistura da argamassa autonivelante para contrapisos por meio dos ensaios de determinação do índice de consistência e determinação da resistência a compressão.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudo exploratório experimental para a obtenção de traço da argamassa autonivelante.
- Avaliar o índice de consistência da argamassa autonivelante no estado fresco.
- Avaliar a resistência a compressão da argamassa autonivelante no estado endurecido.

1.3 Justificativa

Bastante conhecido e utilizado fora do país o sistema construtivo de argamassa autonivelante tem forte propensão de implantação e crescimento de uso no mercado da construção civil no Brasil. O conhecimento das propriedades e do desempenho da argamassa autonivelante se torna cada vez mais importante, não se limitando apenas para o meio cientifico, como também para o meio técnico que venha a fazer uso deste produto na construção civil. No Brasil é notável a carência em relação a pesquisas voltadas para este tipo de material, onde os estudos que se tem tratam somente de concretos auto adensáveis (RUBIN, 2015).

Tendo em vista que no Brasil ainda não há uma norma especifica para composição, execução e aplicação de tal tipo de material de estudo, procura-se neste trabalho, desenvolver uma pesquisa laboratorial que possa caracterizar detalhadamente os materiais, execução dos traços e as características físico-mecânica da argamassa autonivelante para contrapiso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas de piso e contrapiso

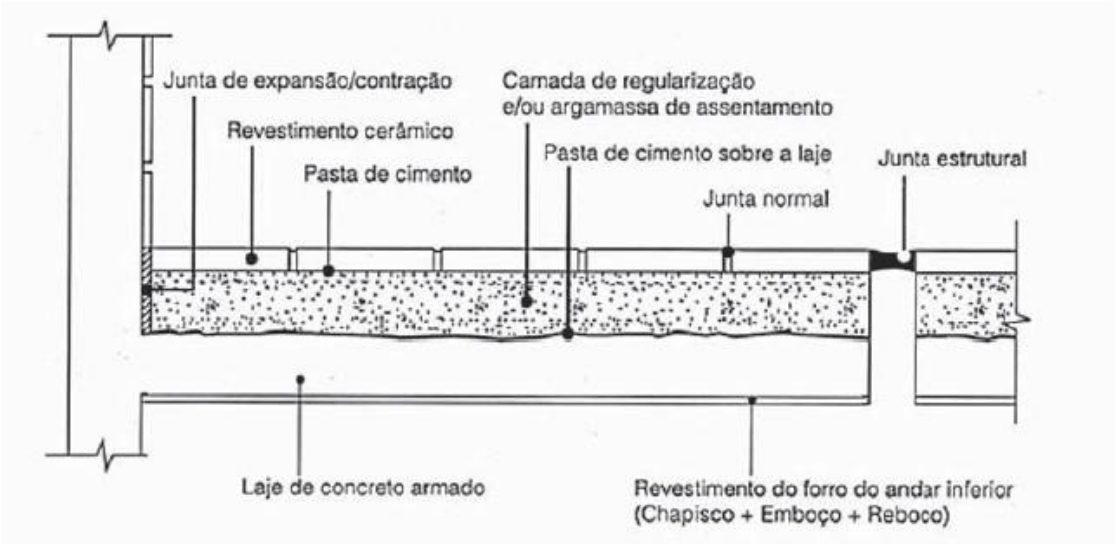
Segundo NAKAKURA (1997) os pisos têm basicamente dois objetivos principais que são: resistir à ação abrasiva ou puncionante de cargas em movimento e suportar as cargas em movimento. É necessário dimensionar o piso estruturalmente e prescrever quais propriedades são necessárias para resistir à abrasão para ambos os casos. Além destas duas condições atualmente vem levando em consideração uma terceira: a qual são os quesitos de planicidade ou a rugosidade da superfície.

A junção destas três características permite o surgimento de uma gama de combinações, que resultam em pisos para indústria pesada ou leve, para armazéns, para áreas de residências, locais públicos ou corredores e etc. O acabamento destes pisos depende das características de estética e funcionalidade, onde pode gerar uma superfície diretamente em concreto ou uma argamassa a base de cimento Portland, madeira colada, um carpete de tecido, um revestimento monolítico sintético a base de resina de reação entre outros (NAKAKURA, 1997).

A descrição feita por FIORITO (2009) em relação a composição das inúmeras camadas em que o sistema piso é composto é descrito a seguir e representado pela Figura 1:

- Laje de concreto armado ou lastro de concreto simples;
- Camada de pasta de cimento;
- Camada de argamassa de regularização;
- Contrapiso;
- Camada de argamassa colante com espessura uniforme de 3 a 6 mm, dependendo das dimensões da superfície da peça cerâmica;
- Revestimento cerâmico.

Figura 1 - Corte do sistema/vedação horizontal interna segundo Fiorito



FONTE: FIORITO, 2009

O sistema de FIORITO (2009) leva em consideração a possível existência de uma camada de nivelamento que é feita antes do contrapiso no qual será apenas executado quando faltar de 20 a 25 mm para alcançar o nível do piso:

- Nivelamento da superfície: Primeiro deve medir qual a espessura que será necessária da argamassa da camada acima da laje. Por ventura esta espessura se encontre entre 20 a 25 mm, efetua-se a camada de contrapiso. Caso a espessura seja maior deve-se executar uma camada de regularização da superfície. Independente da função a espessura da argamassa não deverá ultrapassar os 25 mm.
- Contrapiso: É considerado “contrapiso” a última camada de argamassa, quando falta até 25 mm para se atingir o nível desejado.

A composição do contrapiso é feita por camadas ou enchimento, nas quais são aplicados sobre uma laje, terreno ou uma superfície intermediaria ou de impermeabilização. A definição do contrapiso consiste em determinar quais os parâmetros envolvidos em seu desempenho, evidenciando entre elas suas funções e finalidades, as características e propriedades, qual tipo de base será feita a aplicação, qual tipo de revestimento será aplicado, quais as solicitações previstas, como será executado, quais materiais tem-se disponível para a produção da argamassa (BARROS, 1991).

BARROS (1991) define as características do contrapiso como:

- Condições superficiais: promove a aderência entre o piso e o revestimento que irá receber.
- Aderência: habilidade em que as piso-contrapiso e base-contrapiso possui para absolver deformações provenientes das solicitações de uso;
- Resistência mecânica: é a capacidade do contrapiso de resistir as solicitações de ações em sua fase de execução e utilização mantendo a integridade física do mesmo;
- Capacidade de absorver deformações: é a habilidade que o contrapiso tem de absolver as ações se deformar, mas sem apresentar fissuras e promover um comprometimento de seu desempenho;
- Compacidade: Habilidade de resistir ao esmagamento que o contrapiso possui. Sua definição é feita pela relação estabelecida entre volume de vazios da argamassa e o volume total;
- Durabilidade: compatibilidade entre contrapiso e revestimento de piso e função das condições de exposição do contrapiso.

2.2 Argamassa autonivelante

Introduzido no Brasil na última década a argamassa autonivelante para contrapiso é um produto novo que foi introduzido no mercado da construção civil do país, a utilização deste material é destinada para pisos e contrapisos, sendo que possui características que as tornam capas de se auto adensar apenas com o próprio peso por efeito da gravidade resultando em uma superfície lisa e plana (MARTINS, 2009).

O conceito de argamassa autonivelante é uma argamassa com propriedades de fluidez que a torne capaz de preencher os vazios somente sobre o efeito da força da gravidade e da sua capacidade de fluxo e de se autoadensar, possuindo uma grande capacidade de fluir e adensar sem permitir a segregação. Característica atingida em razão do equilíbrio entre quatro itens: uma moderada viscosidade, fluidez com grande capacidade de locomoção e coesão entre as partículas dos materiais que as constituem (MARTINS, 2009).

Figura 2 - Aplicação do contrapiso autonivelante

FONTE: CDTV, 2013 *apud* RUBIN, 2015

Com base cimenticia a argamassa autonivelante possui propriedades auto adensável, e bambeável, monocomponente, com grande fluidez e tem uma fácil aplicação, sendo executada em superfícies horizontais. Sua utilização pode variar entre piso e contrapiso, com aplicação acima de uma manta acústica e/ou térmica e ainda pode ser aderida ou não ao substrato. Possui a flexibilidade de servir com sua superfície para piso final propriamente dito ou receber revestimento de piso como acabamento (AENOR, 2003 *apud* RUBIN, 2015).

Desenvolvido na Europa na década de 1980 o contrapiso autonivelante é recomendado para a restauração e o nivelamento em bases de concreto. As primeiras aparições de produtos no Brasil são de 1990. Hoje em dia, o mercado da construção civil com empreendimentos industriais, comerciais e equipamentos urbanos como, por exemplo, o estádio do Maracanã já aderiram este sistema construtivo. Em relação a custo benéfico se torna de difícil conhecimento, pois a tecnologia deste sistema ainda é pouco conhecida, mesmo com seu uso em obras de grande porte, tornando assim se lento o processo de propagação em grande proporção desta tecnologia (CICHINELLI, 2012).

Figura 3: Fluidez da argamassa autonivelante

Fonte: SOUZA; FERREIRA e AZEVEDO 2012

A principal característica desse material, em relação aos métodos convencionais de contrapiso feitos com argamassa dosada em obra, é sua elevada fluidez e sua capacidade de se auto adensar, sem segregar. Sua aplicação é rápida e simples, e o material se espalha no ambiente aplicado, de forma coesa e homogênea. Seu adensamento e compactação se dão pela ação da gravidade, com o próprio peso.

2.2.1 Histórico

As primeiras pesquisas com argamassa atonivelante tiveram início na década de 1970, porem apenas em 1999 que empresas espanholas deram início aos testes de materiais e métodos para a elaboração desta nova tecnologia. Tendo em vista a inovação tecnológica que a argamassa autonivelante possuía, deram-se início a estudos laboratoriais para avaliar o custo-benefício e a aceitação de mercado, as quais eram feitos com visitas em obras para selecionar métodos mais utilizados, os quais foram denominados Métodos Tradicionais (MARTINS, 2009).

Ainda pouco disseminada no Brasil a argamassa autonivelante foi introduzida a Europa na década de 80, e vem sendo tema de pesquisas para avaliar seu comportamento, propriedades, materiais e conceitos (MARTINS, 2009).

Segundo NAKAKURA (1997) o crescimento do estudo com argamassas vem crescendo de maneira considerável, há alguns anos, além de existir estudos os quais são realizados junto ao Sindicato dos Produtos à base de cimento (SINAPROCIM, 2001), que notou a divisão na produção da argamassa em dois seguimentos. O primeiro é o seguimento de argamassas de pequeno porte, elaborando argamassas para rejuntamento e argamassas colantes. O segundo seguimento é referente a argamassa de assentamento, revestimento e contrapiso.

Com origem espanhola as argamassas autoadensáveis se inseriram no Brasil há pouco tempo e ainda são pouco conhecidas, mas vem trazendo um crescimento com relação a estudos para analisar seu comportamento, por parte dos setores técnicos da construção civil (MARTINS, 2009).

As primeiras normas de desempenho para revestimentos de pisos, incluindo as argamassas autonivelante foram publicadas no Reino unido no ano de 2002, onde o padrão europeu foi considerado para o desenvolvimento de tal material. Estas normas evidenciam características que são esperadas dos produtos autonivelantes, assim como o os métodos em que essas características devem ser determinadas, contendo também, especificações sobre testes para ensaios dos produtos (FERFA, 2005 *apud* RUBIN, 2015).

Já no ano de 2011 foram lançadas as normas Americanas que contem especificações de padronização para as argamassas autonivelante. Pesquisas americanas anteriores a estas, referem-se somente as principais particularidades e propriedades reológicas da argamassa autonivelante no estado fresco, as quais se baseiam nas normas Européias (RUBIN, 2015).

2.2.2 Produção

Em termos de fornecimento no Brasil, nos dias de hoje pode se encontrar dois tipos de argamassa no mercado: a argamassa dosada em central e a argamassa industrializada (ensacada). A argamassa dosada em central e transportada já pronta pelo caminhão betoneira até a obra. E a industrializada é vendida em sacos e preparada no canteiro de obra, sendo misturada com água, pouco antes da sua aplicação (SOUZA, 2013).

Souza (2013), *apud* Rubin (2015) demonstra uma tabela que especifica as diferenças entre duas maneiras diferentes de produzir uma argamassa autonivelante, industrializada e dosada em obra (Tabela 01):

Tabela 1: Tabela comparativa de formas de fornecimento entre argamassas autonivelantes e argamassa dosada em obra.

TIPO DE ARGAMASSA PARA CONTRAPISO	ARGAMASSA AUTONIVELANTE INDUSTRIALIZADA (ENSACADA)	ARGAMASSA AUTONIVELANTE DOSADA EM CENTRAL
ENTREGA E RECEBIMENTO DO MATERIAL	Não depende de entrega programada	A entrega precisa ser programada com antecedência
TIPO DE MISTURA PARA PREPARO DA ARGAMASSA	Necessita de amassadeira acoplada à bomba	A argamassa é lançada direto na bomba.
MÃO DE OBRA PARA REALIZAÇÃO DO PREPARO E APLICAÇÃO	Necessita de mais mão de obra para transporte e mistura da argamassa	A mão de obra fica responsável apenas pelo bombeamento e espalhamento da argamassa
MATERIAIS UTILIZADOS	Não depende diretamente do mercado de concreteiras	Mais susceptível a variações de demanda da central em outras áreas do mercado
TIPO DE DOSAGEM	Deve-se atentar para a correta dosagem da água de amassamento	Melhor controlada a dosagem
PRODUÇÃO DO MATERIAL	A argamassa vai sendo produzida na medida que será utilizada	A demora na entrega pode acarretar em perda do material
INFRAESTRTUTURA AUXILAR	O uso não depende de infraestrutura de usina próximo a obra	O uso está condicionado à presença de usina próximo a obra

FONTE: RUBIN, 2015

2.2.3 Vantagens e desvantagens

As vantagens ou desvantagens da argamassa autonivelante variam muito de acordo com alguns critérios que deverão ser analisados, como o tipo de uso a que se destina a argamassa (piso industrial ou residencial), o tipo de produção (dosada em obra ou industrializada), o tipo de cimento utilizado e a dosagem de seus materiais (RUBIN, 2015).

Uma de suas características mais evidentes deste material é a rapidez na execução e liberação do local para transito leve após 2 a 3 horas depois de sua aplicação (NAKAKURA, BUCHER, 1997). Entretanto, segundo SOUZA (2013) apesar de ter um tempo bastante reduzido para liberação da superfície de aplicação, deverá ser respeitado o período de secagem e eliminação de humidade, como em qualquer outra argamassa, que demora em torno de 14 dias, variando de acordo com as condições climáticas em que se encontra), para depois realizar o assentamento do revestimento.

Segundo NAKAKURA (1997) e TUTIKIAN et. al. (2008), algumas das vantagens da argamassa autonivelante:

- O consumo de cimento e o peso próprio podem ser reduzidos consideravelmente quando se utiliza a argamassa autonivelante, pois a espessura pode ser reduzida para apenas 5,0 mm a 10,0 mm o piso/contrapiso.
- As adições de aditivos retentores de água e de fibras orgânicas fazem a tendência a fissurar cair praticamente à zero.
- A redução de patologias e a horizontalidade são visivelmente garantidas pela ação da gravidade sobre a argamassa, as ondulações se restringem apenas as possíveis de ocorrer em um liquido viscoso.
- Em relação à produtividade a argamassa autonivelante traz bastante vantagem sobre a argamassa tradicional, pois sua execução está apenas em bombear a argamassa sobre o substrato ou lona plástica sem a necessidade de correções para desempeno, isso ocorre devido a sua fluidez que permite o escoamento sobre a superfície com facilidade e garantindo assim a total horizontalidade do contrapiso.
- Para execução do piso/contrapiso autonivelante o tempo também é bastante reduzido, podendo ocorrer em um ritmo de 50m² a 100m² por hora um homem.
- A mão de obra em termos de operários também é consideravelmente reduzida tornando assim o local de trabalho mais seguro.
- As combinações de aditivos e o tipo de cimento escolhido fazem com que a cura da argamassa autonivelante seja extremamente rápida, podendo pisar na superfície de aplicação depois de decorridos 2 a 3 horas.
- Uma grande quantidade de agregado com dimensão máxima de 0,60 mm, uma matriz rica em cimentos e adições com dispensa de alguns selantes

adicionais promovem a argamassa autonivelante uma textura extremamente fina.

- A utilização de alguns resíduos industriais em sua composição como adições minerais como: cinza volante, escoria de alto forno, sílica ativa, cinza de casca de arroz entre outras promove a argamassa autonivelante um ganho ecológico bastante elevado.

Segundo Ortega (2003, *apud* Martins,2009) apresentou uma série de vantagens econômicas da argamassa autonivelante em relação aos sistemas de argamassas tradicionais e são indicados na Tabela 02:

Tabela 2 - Comparativo de Custos de Argamassas

Descrição	Custo (R$/m²)	
	Argamassa Tradicional	Argamassa Autonivelante
Mão de Obra	16,13	3,00
Argamassa	6,12	16,57
Argamassa Cola	0,39	1,16
Cama d areia	0,74	0,48
Junta Perimetral	0,39	1,46
Gabaritos	1,78	0,53
Custo indiretos	2,85	1,87
TOTAL	**28,39**	**25,07**

FONTE: SOUZA, 2013

Em relação as desvantagens da argamassa autonivelante está em que hoje no Brasil não existem muitas empresas com conhecimento e especialização em produção e aplicação da argamassa autonivelante (BRANCO e BRITO, 2014 apud RUBIN, 2015). Silva (2013, apud RUBIN, 2015) ressalta que a mão de obra qualificada para a aplicação de forma que a produtividade máxima seja alcançada durante a obra, também é de difícil acesso. Então as empresas que tem interesse de implantar a tecnologia da argamassa autonivelante deve promover um treinamento necessário para a qualificação dos operários envolvidos na obra.

Outra desvantagem que a deve ser lembrada é a argamassa autonivelante não é indicada para pisos que tenham desníveis, como por exemplo banheiros, cozinhas, área de serviço. E se caso for necessário fazer caimento deverá fazer

barreiras físicas para impedir o escoamento da argamassa e posteriormente realizar o arremate da mesma (SOUZA, 2013).

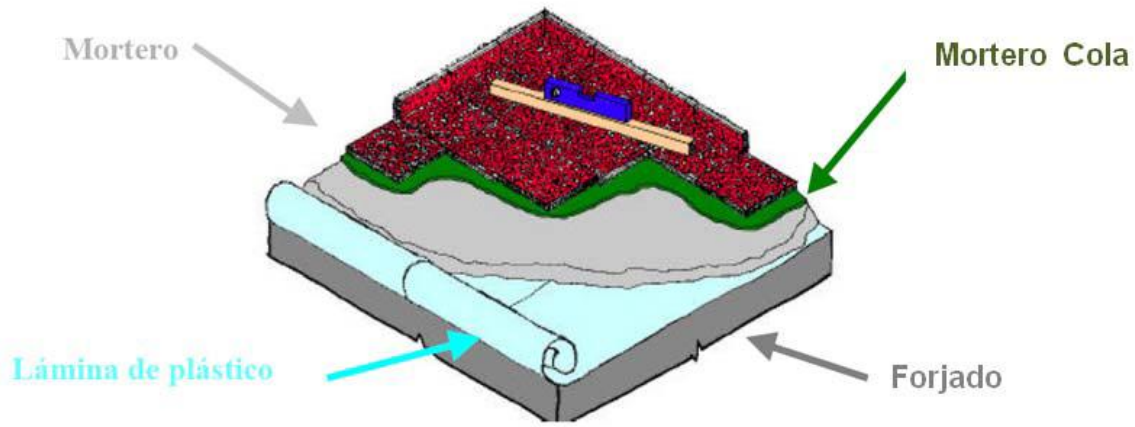
Em relação a dosagem do material é evidenciado outra desvantagem, como o controle rigoroso da quantidade de água da mistura, pois sendo utilizada em excesso provoca a segregação da mistura. Como também o controle da quantidade de aditivo, pois em quantidades erradas pode provocar um retardamento no enrijecimento da mistura da argamassa, impedindo a liberação do local de aplicação. Além disso se a fluidez da argamassa não tiver adequada pode provocar o entupimento dos mangotes durante o processo de bombeamento da mistura (BRANCO e BRITO, 2014 *apud* RUBIN, 2015).

Ainda segundo RUBIN (2015) a falta de normativas técnicas tanto para o uso como para a produção, provocam uma série de dúvidas quanto a utilização e produção ada argamassa, desmotivando empresas a fazer uso desse material no mercado da construção civil brasileira. Além da falta de padronização dos equipamentos para aplicação.

2.2.4 Utilização

MARTINS (2009) cita que a argamassa autonivelante por ser um material com características especificas e que garante a total horizontalidade da superfície, contribui para a execução do contrapiso.

Figura 4 - Método Auto-Nivelante



Fonte: ORTEGA (2003, *apud* MARTINS, 2009)

Apesar de não ter normativas no Brasil em que especifique a utilização, propriedades e características, pode-se encontrar no mercado dois tipos de

indicação de utilização desse produto: para ambientes residenciais/comerciais e para ambientes industriais (RUBIN, 2015).

a) **Utilização industrial:** indicadas para aplicações e pisos industriais com trafego moderado, estacionamentos, garagens, pátios. Dependendo da fabricação podem receber pinturas ou revestimentos dos mais variados tipos ou ainda funcionar como a superfície final do piso aplicado. Geralmente utiliza-se para acabamento do piso e por ter espessuras mais finas, que variam de acordo com o caso mas que ficam entre 5 a 20 mm, apresentam secagem mais rápidas (LESSA e COUTINHO, 2013 *apud* RUBIN, 2015).

Figura 5 - (a) Área de estacionamento pronta para receber o contrapiso autonivelante industrial; (b) Área de estacionamento com o contrapiso autonivelante industrial aplicado.

(a) **(b)**

Fonte: (LESSA e COUTINHO, 2013 *apud* RUBIN, 2015).

b) **Utilização residencial/comercial:** indicadas para utilização em áreas internas residenciais e comerciais. Geralmente são utilizadas apenas para o nivelamento da superfície, não podendo funcionar como a própria superfície final, pois não tem resistência para receber tráfego intenso, exigindo um acabamento final. Mas podem ser aplicadas em pisos flutuantes, embutindo instalações, sobre mantas acústicas e/ou térmicas, de acordo com a necessidade. As espessuras já são maiores que as argamassas autonivelantes aplicadas em pisos industriais e variam entre 20 a 60 mm (LESSA e COUTINHO, 2013 apud RUBIN, 2015).

Figura 6 - (a) Pavimento com colocação de manta acústica, para receber contrapiso autonivelante; (b) Pavimento com aplicação de contrapiso autonivelante, sobre manta acústica.

(a) **(b)**

Fonte: HOUANG, 2013 *apud* RUBIN, 2015

2.3 Materiais utilizados

A diversidade de materiais disponíveis com suas variações de características e propriedades dificulta a seleção dos mesmos. A escolha fica ainda mais difícil, pois existem variados tipos de aditivos e adições minerais que são permitidos o uso simultâneo e não há normas que definam objetivamente a melhor escolha de materiais a ser feita (TUTIKIAN, 2004).

Todos os materiais utilizados nesta pesquisa estão especificados a seguir.

2.3.1 Cimento

Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008) a definição de Cimento Portland é um aglomerante hidráulico, material pulverulento composto por silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio que se hidratam em contato com a água no qual depois de endurecido não se decompõe, nem mesmo com a presença de água novamente.

Não existe um tipo de cimento especifico para a produção da argamassa autonivelante, portanto o Cimento Portland foi escolhido por ser um produto de fácil acesso e amplamente utilizado no mercado da construção civil.

Mesmo não havendo pesquisas para avaliar a influência do tipo de cimento nas argamassas, pode-se afirmar que algumas características de cada tipo de cimento podem influenciar nas propriedades de desempenho da argamassa no

estado fresco. E dentre a diversidade de aglomerantes hidráulicos o Cimento Portland é o mais utilizado na confecção de argamassa (BAUER e SOUSA, 2005).

Tutikian, *et al.* (2008) especifica que não há critérios normativos para definir o melhor tipo de cimento. Deverá ser escolhido aquele que apresenta mais características necessárias para resistência a compressão.

A finura do cimento e a capacidade de incorporar o aditivo superplastificante, visto que essa adsorção acontece de preferência nos aluminatos (C_3A – Aluminato de Tricálcico e C_4AF – Ferro aluminato tetra cálcico), são algumas das características principais que o cimento deve apresentar para compor a produção de argamassa autonivelante (AITCIN, 2000; NEVILLE, 1997 *apud* MARTINS, 2009).

Os principais constituintes do cimento Portland estão especificados na Figura a seguir.

Figura 7- Principais constituintes do Cimento Portland

Composto	Composição	Abreviação
Silicato tricálcico	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Fonte: NEVILLE (1997)

As principais características dos componentes estão especificadas na Figura a seguir.

Figura 8 - Propriedades dos quatro principais componentes do cimento

Propriedades	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Resistência em pequenas idades	Boa	Fraca	Boa	Fraca
Resistência em idades posteriores	Boa	Boa	Fraca	Fraca
Velocidade de reação com a água (hidratação)	Media	Lenta	Rápida	Rápida
Quantidade de calor gerado na hidratação	Média	Pequena	Grande	Média
Resistência a águas agressivas	Média	Boa	Fraca	Fraca

Fonte: LIBORIO (1999) apud CASTRO (2007)

2.3.2 Aditivos

O uso do aditivo se torna indispensável para a produção e estudo da argamassa autonivelante, pois tem em vista a obtenção das características reológicas desejadas. O aditivo superplastificante deve ser aplicado com o intuito de

obter a fluidez adequada e diminuir a tensão de escoamento. O aditivo promotor de viscosidade tem a função de ajudar na estabilidade da mistura (MARTINS, 2009).

2.3.2.1 Aditivo Superplastificante

Dentre os aditivos para argamassa autonivelante pode se destacar os superplastificantes que possuem propriedades capazes de garantir as características da argamassa no estado fresco, garantindo também à alta fluidez da mistura em razão da sua capacidade de redução de água (RONCERO, 2002 *apud* MARTINS, 2009).

Martins (2009) faz um resumo sobre a finalidade dos aditivos superplastificantes conforme alguns autores, descritos a seguir:

a)Reduzir o consumo de água, mas permitindo a mesma consistência, aumentando a resistência e a durabilidade de concretos e argamassas conseqüentemente;

b)Propriedade de aumentar a fluidez da mistura sem alterar o consumo de água;

c)Diminuir a quantidade no consumo de cimento, sem alterar a consistência e a resistência a compressão como intuito de diminuir custos e ainda reduzir retração, fluência e tensões térmicas;

Os aditivos mais largamente utilizados no mercado são os geralmente à base de polixicarbonato, melanina sulfonato, lignossulfonato e naftaleno sulfonato (MONTE, 2003 *apud* MATINS, 2009).

Hartmann (2002, *apud* Tutikian, *et al.,* 2008) classifica os aditivos superplastificantes em quarto categorias, de acordo com sua composição química:

a.Policarboxilatos: Aditivo que dispersam e desfloculam as partículas de cimento e são os mais indicados para a produção de CAA por serem aditivos seperplastificantes de alta eficiência. Permitindo então uma redução em até 40% de água na mistura, mas mantendo a mesma trabalhabilidade. São também aditivos poliméricos.

b.Melanina Sulfonato: Também conhecidos como sais sulfonatos de policondensado de melanina e formaldeído, ocasionalmente, podem incorporar uma pequena quantidade de ar, podendo também possuir a tendência de retardar a pega do cimento. Conhecidos também como superplastificantes de segunda geração a mesmo modo do NS, quando

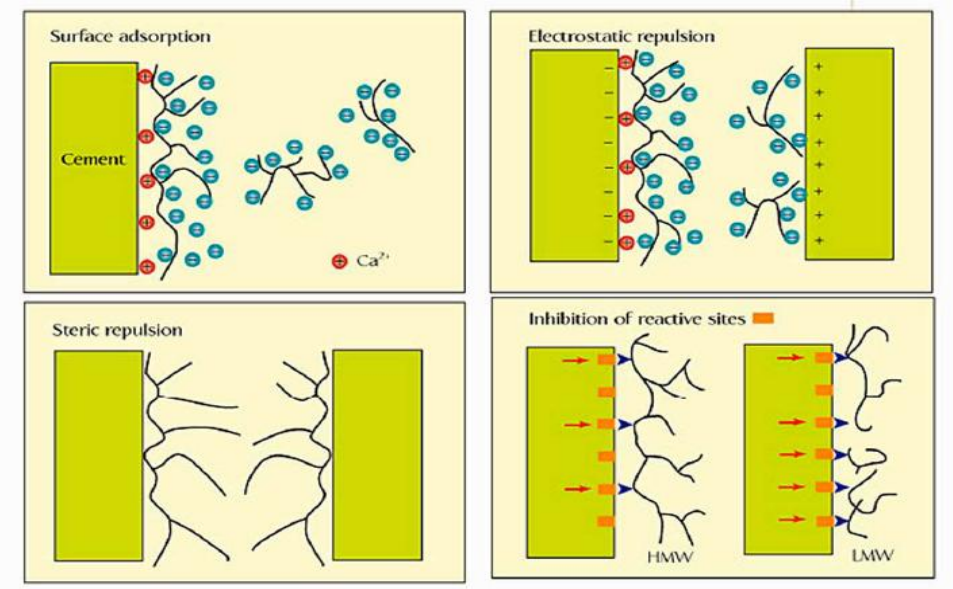
usados como redutores de água permitem uma redução de até 25% da quantidade de água da mistura

c. Lignossulfonatos: Mas também conhecidos como lignossulfonatos modificados (LS), utilizados como superplastificante em alguns casos, redutores de água normais e conhecidos como superplastificantes de primeira geração, usualmente incorporam ar e retardam, em variadas intensidades, a pega do cimento.

d. Naftaleno Sulfonato (NS): Conhecidos também por sais sulfonatos de policondensado de naftaleno e formaldeído. Conhecidos como superplastificantes de segunda geração, não incorporam ar e sua interferência no tempo de pega do cimento é quase zero. Permitem uma redução de até 25% do consumo de água na mistura, quando usados como redutores de água.

Segundo TUTIKIAN, *at al*., (2008) os aditivos mais utilizados na produção de CAA's são os superplastificantes a base policarboxilatos, pois melhoram nitidamente a dissipação das partículas do cimento em comparação com os aditivos de primeira e segunda geração. Isso se deve ao fato dos superplastificantes tradicionais serem baseados em polímeros os quais as partículas de cimento tendem a absorver e que se acumulam na superfície. A carga negativa do cimento aumenta com estes polímeros, fazendo com que desequilibre e as partículas se dispersem por repulsão elétrica, exigindo menos água para fuidificar a pasta. As cadeias dos aditivos suplesplastificantes de terceira geração, são compostos por polímeros de éter carboxílico com grandes cadeias laterais, que produzem a dispersão do cimento da mesma maneira, mas com maior eficiência. Isso acontece porque suas cadeias são ramificadas, produzindo um aumento da área superficial.

Figura 9 - Mecanismo de ação de um aditivo superplastificante a base de policarboxilatos



FONTE: TUTIKIAN, 2004

Carregando-o com cargas de mesmo sinal o aditivo envolve o sistema de partículas do cimento e por efeito de repulsão eletrostática o superplastificante vai dissipando as partículas de cimento, fazendo assim com que necessite menos água para se obter uma mesma trabalhabilidade (MARTINS,2009).

2.3.2.2 Aditivo modificador de viscosidade

Utilizados para melhorar a resistência a segregação os aditivos modificadores de viscosidade ou modificadores de viscosidade em grande parte são a base de polissacarídeos, cujas cadeias poliméricas adsorvem água e se entrelaçam e formam grandes reticulados flexíveis responsáveis pelo aumento de retenção de água. Aumentando a viscosidade e diminuindo a exsudação da pasta e evitando a segregação dos agregados. Podem ser empregados na composição de aditivos promotores de viscosidade em concreto produtos à base de sílica precipitada (REPETTE, 2005*apud* SOUZA, FERREIRA e AZEVEDO 2013).

O aditivo modificador de viscosidade – *viscositymodifyadmixture* (VMA), é muito importante na confecção da argamassa autonivelante, por ser permitido seu emprego quando o teor de finos for limitado, ajudando a promover à viscosidade adequada garantindo a resistência a segregação, homogeneidade da mistura e diminuição da exsudação (MELO, 2005 *apud* MARTINS,2009).

De acordo com Martins (2009) pode se observar algumas vantagens na utilização dos aditivos modificadores de viscosidade, sendo elas:

a)Versatilidade na escolha de procedimentos de lançamento e materiais;

b) Alcançar níveis de fluidez para que a argamassa seja capaz de percorrer grandes distancias horizontais;

c) Ganho de melhoria da homogeneidade da mistura;

d) Permanência da coesão durante o lançamento.

Os aditivos promotores de viscosidade substituem os finos do concreto, fazendo com que diminua a quantidade de partículas pequenas e minimize a área superficial do material e, por consequência o consumo de água. Portanto os concretos equivalentes podem ter relação água/aglomerante menores ou com a mesma relação, mas possuindo maior fluidez sem que ocorra segregação (TUTIKIAN, et al., 2008).

O uso desse aditivo pode provocar concretos com comportamento pseudo plástico, ou seja, em função do aumento da tensão de cisalhamento aplicada uma redução da viscosidade. Portanto a argamassa autonivelante se trata de um material bastante fluido, com uma taxa de cisalhamento, a viscosidade diminui, facilitando a execução. Sendo assim, após a aplicação da argamassa fluida, a viscosidade tende a aumentar e garantindo assim a capacidade de reter água e manter a sustentabilidade das partículas (MELO, 2005 *apud* MARTINS, 2009).

2.3.3 Agregado miúdo/Areia

A classificação dos agregados miúdos naturais ou resultantes de britamento de rochas estáveis, ou uma mistura das duas, cujos grãos passa pela peneira 4,8 mm definida pela ABNT e ficam retidas na peneira 0, 075 mm, é regida pela NBR 7111:1983. Outra definição cabível é a de que o agregado miúdo é um material granular, relativamente inerte e que se classifica com base em sua composição granulométrica (NBR 7211, 2009).

Tabela 3 - Limites granulométricos de agregado miúdo

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

FONTE: NBR 7211/2009

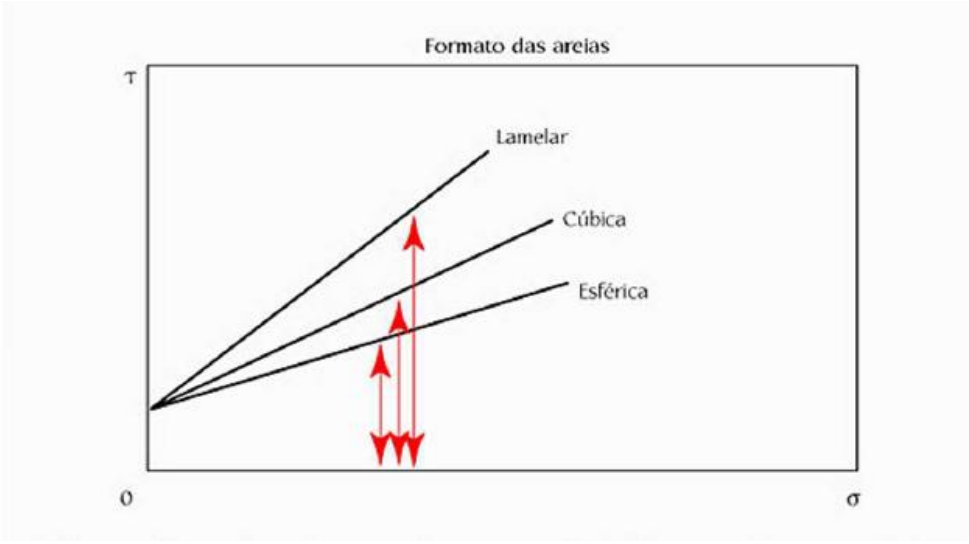
Em meio as características que devem ser analisadas nos agregados miúdos, para este caso a areia, está a sua composição granulométrica, a qual está diretamente ligada no consumo de água pelos aglomerantes, no desempenho da argamassa e na trabalhabilidade da mesma. Para o agregado miúdo a melhor composição granulométrica é a continua, pois proporciona uma maior resistência mecânica em razão da melhoria do empacotamento da mistura (FREITAS, 2010).

Segundo TUTIKIAN (2004) de maneira geral todas as areais, sejam obtidas de forma natural (leito do rio ou processos eólicos) ou por meio de processos industriais pode ser usadas na produção do CAA. Sendo que as naturais são mais recomendadas por possuírem uma forma mais arredondada e com textura mais lisa. As areias industriais requerem certo cuidado, pois normalmente possuem uma granulometria descontinua, ou seja, possuem falhas em sua composição granulométrica, falhas estas que podem ser corrigidas com a adição de uma areia média de rio.

Ainda segundo TUTIKIAN (2004), por influenciarem na fluidez e coesão do CAA o agregado miúdo está diretamente ligado ao consumo de água. O uso de agregados com partículas arredondadas e lisas é recomendado para deixar a mistura com a mesma quantidade de água, mas aumentando a fluidez. Segundo Okamura e Ouchi (2003), para o aumento da resistência ao cisalhamento e

deformabilidade do concreto os agregados miúdos devem ter as partículas mais angulosas.

Figura 10 - Influência de três tipos de areia sobre a tensão de cisalhamento da mistura de CAA quando em movimento, onde τ é a tensão de cisalhamento e б tensão normal



FONTE: TUTIKIAN, 2004

Para um piso com textura superficial do piso endurecido lisa e muito fina, que não exija selantes adicionais, o agregado miúdo utilizado na confecção da argamassa autonivelante deverá ser de granulometria característica máxima do grão inferior a 0,6mm, ser quartzosa ou basáltica (NAKAKURA & BUCHER, 1997*apud* SOUZA; FERREIRA e AZEVEDO 2012*)*.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento da metodologia utilizada nesta pesquisa tem como base e referenciam as pesquisas de três autores no campo de pesquisa em argamassa autonivelante os quais são RUBIN (2015), MARTINS (2009) e SOUZA; FERREIRA e AZEVEDO (2012).

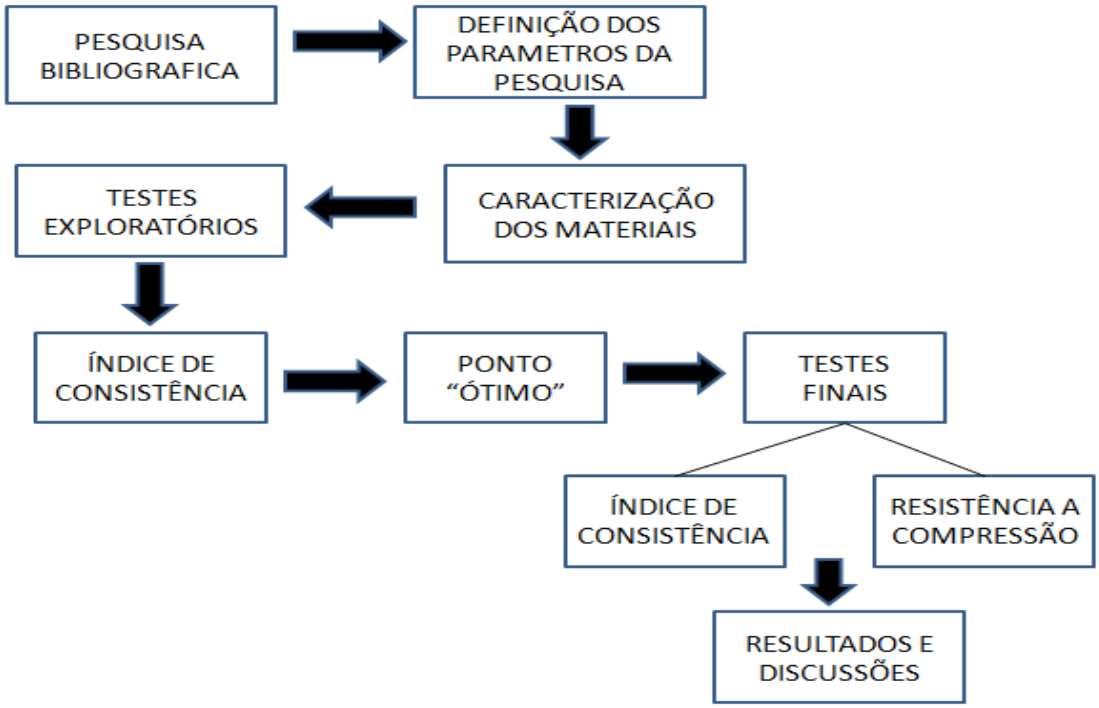
3.1 Classificação

A pesquisa realizada é do tipo fatorial completa 3^3, onde foram realizados traços com teores diferentes dos materiais pré-determinados, para se determinar as características da argamassa autonivelante. Tipo de pesquisa este que testa hipóteses, consequentemente obtendo resultados com precisão, fornecendo dados para comparação, por meio de gráficos e tabelas.

Foram três os objetos de estudo desta pesquisa: teor de cimento, consumo do aditivo superplastificante e relação água/cimento. Estes materiais serão dosados em quantidades diferentes até que se obtenha uma argamassa autonivelante final com a melhores qualidades no estado fresco e endurecido assim como um bom custo benefício.

O fluxograma a seguir demonstra a sequência a ser seguida para a realização da pesquisa:

Figura 11 - Fluxograma com a sequência da metodologia



3.2 Estudo de caso e métodos

Os ensaios desta pesquisa foram realizados no laboratório do CEULP/ULBRA, localizado na Avenida Teotônio Segurado. 1501 Sul, no município de Palmas-TO

Primeiramente, foi realizado um estudo para obter a caracterização dos materiais que compõe a mistura, logo após, um estudo em relação à composição do traço por meio de testes laboratoriais com o auxílio de pesquisas bibliográficas. Estes foram definidos como testes exploratórios, com o objetivo de determinar quantidade de materiais utilizados para obter uma mistura com boas características no estado fresco e endurecido, para logo após realizar a confecção dos testes finais e avaliar o comportamento da mistura no estado fresco e endurecido devido a variação de teores de materiais componentes.

. Os resultados serão obtidos por meio de ensaios laboratoriais a fim de caracterizar a argamassa autonivelante onde, todas as amostras de cada teste serão submetidas a ensaios de consistência (*Flow table)* no estado fresco e resistência a compressão no estado endurecido.

3.3 Variáveis e parâmetros fixos

3.3.1 Determinação das variáveis e parâmetros fixos

As relações entre as variáveis dependentes, variáveis independentes e parâmetros fixos serão mais bem discorridos com os cálculos de dosagem de acordo com a recomendação de cada fabricante e o desempenho das mesmas.

3.3.1.1 Determinação das variáveis independentes ou de controle

As variáveis independentes foram escolhidas para delimitar a pesquisa em questão, além de melhor especificar a matriz experimental do estudo.

a)*Consumo de cimento*: Será variado o teor de cimento, em razão de ser um dos materiais mais caros da mistura, sendo que estas variações visem obter um produto com alta trabalhabilidade, fluidez, coesão e resistência com o menor custo possível.

b)*Consumo de Aditivo superplastificante:* Será variada a quantidade de aditivo superplastificante visando obter um produto com menor consumo e maiores características de fluidez, visando também um produto mais barato.

c)*Relação água/cimento:* Será variada a relação a/c da mistura para se avaliar o teor necessário para a obtenção de uma mistura fluida e sem segregação.

3.3.1.2 Variáveis dependentes ou de resposta

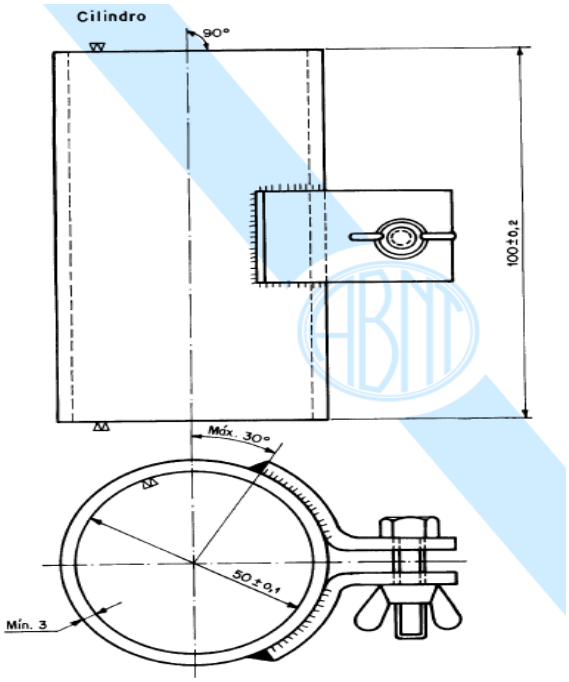
As variáveis dependentes foram escolhidas de acordo com os ensaios necessários para a caracterização das propriedades físico-mecânica da argamassa em estudo quando aplicadas em contrapisos residenciais.

a)*Consistência:* O ensaio que avalia as características de consistência da argamassa é chamado *Flow Table* e será realizada com base na norma NBR 13276 (ABNT, 2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. No entanto foram realizadas algumas adaptações para o tipo de mistura em questão, levando em consideração e fluidez elevada.

b)*Resistência a compressão:* Teor de agua e cimento, o uso de aditivos, textura do agregado podem influenciar nesta propriedade. E os ensaios devem estar de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996) – Cimento Portland -Determinação da resistência à compressão. Onde foram elaborados três corpos de prova,

cilíndricos de dimensões 5cm de diâmetro interno e 10cm de altura, para cada idade a seguir: 3 dias e 28 dias de cura totalizando 6 corpos de provas.

Figura 12 - Molde cilíndrico para corpos de prova



FONTE: NBR 7215, (1996)

3.3.1.3 Parâmetros fixos

Serão itens fixados de acordo com cada traço a ser realizado

a) *Tipo de Cimento:* O tipo de cimento para a realização dos estudos será o Cimento Portland CPII E 32, devido ao seu preço e sua facilidade de compra.

b) *Tipo de agregado miúdo:* Será fixado o tipo de areia a ser utilizado na mistura.

c) *Tipo de aditivo superplastificante:* O tipo de aditivo superplastificante utilizado foi da marca Sika e tipo VisCocrete 3535 CB.

d) *Tipo de aditivo modificador de viscosidade e o teor:* O tipo de aditivo modificador de viscosidade utilizado foi o Sika Pump. No primeiro momento durante os testes exploratórios foi variado o teor de utilização deste material, mas para os testes finais o teor foi fixado em 0,40%

3.4 Projeto de pesquisa experimental

Esta pesquisa foi dividida em três fases onde a primeira consistiu na caracterização dos materiais constituintes da mistura. A segunda fase a realização dos testes exploratórios para obter uma combinação de teores que resultasse em

uma faixa considerada “ótima”, faixa esta em que a mistura apresenta fluidez ideal, falta de segregação e bordas uniformes. A terceira e última fase se deu a realização de testes com teores de materiais próximos ao da faixa ótima para analisar as características e reações da mistura em razão da variação.

3.4.1 Primeira fase: Caracterização dos materiais

3.4.1.1 Cimento

O cimento escolhido para ser utilizado para nesta pesquisa com argamassa autonivelante foi o Cimento Portland CP II-E-32, por ser um produto largamente utilizado na construção civil, fácil acesso e ser indicado para obras em geral inclusive contrapisos. Segundo as especificações técnicas do mesmo esse cimento possui secagem rápida, maior produtividade e menor tempo de obra.

3.4.1.2 Areia

a)Granulometria

A areia utilizada foi de rio, fornecida por uma empresa de materiais de construção da cidade de Palmas-TO, caracterizada no Laboratório de Estruturas do Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA.

Foram realizados ensaios para a Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo de acordo com a norma NBR NM248/2003. A Tabela a seguir mostra as porcentagens retidas em cada peneira da série normal para uma amostra de 500g agitada por 1minuto.

Tabela 4 – Determinação granulométrica do agregado miúdo

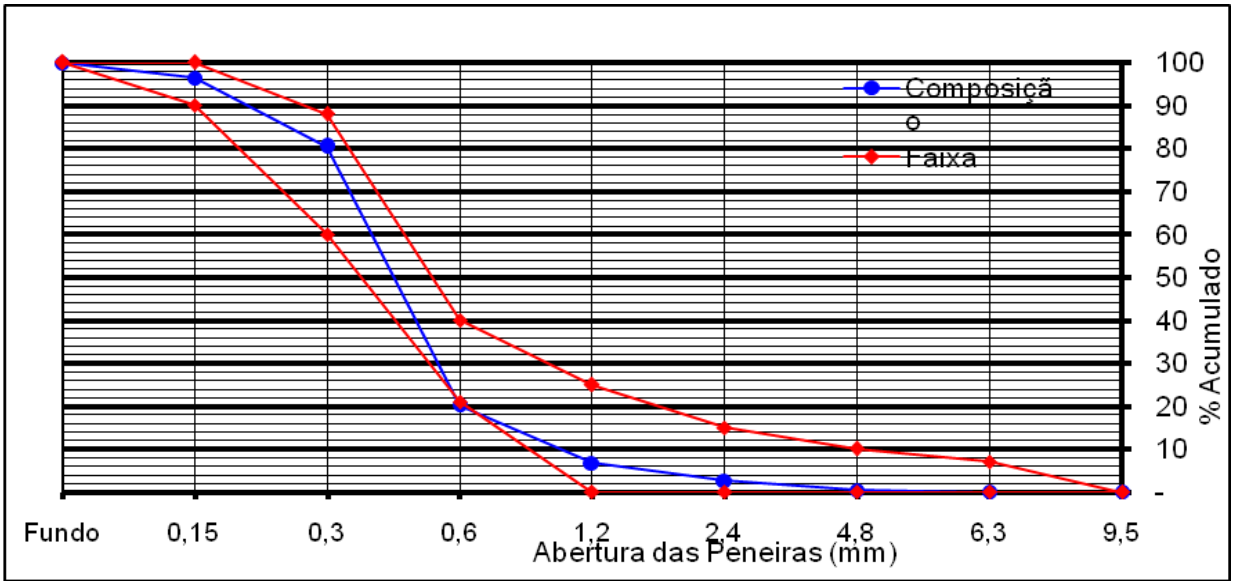
PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO			2ª DETERMINAÇÃO			MÉDIA % RETIDA	
		MASSA	% RETIDA		MASSA	% RETIDA			
Pol / Nº	(mm)	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	RETIDA (g)	Simples	Acumul.	Simples	Acumul.
3/8	9,5		-	-		-	-	-	-
1/4	6,3		-	-		-	-	-	-
4	4,8	2,10	0,42	0,42	2,50	0,50	0,50	0,46	0,46
8	2,4	10,80	2,16	2,58	10,20	2,04	2,54	2,10	2,56
16	1,2	21,60	4,32	6,90	19,80	3,96	6,50	4,14	6,70
30	0,6	67,00	13,40	20,30	68,70	13,74	20,24	13,57	20,27
50	0,3	299,60	59,92	80,22	301,80	60,36	80,60	60,14	80,41
100	0,15	82,20	16,44	96,66	77,40	15,48	96,08	15,96	96,37
FUNDO		16,70	3,34	100,00	19,10	3,82	99,90	3,58	99,95
TOTAL		500,00	100,00		499,50	99,90		99,95	
TOTAL DA AMOSTRA		500,00	100,00		500,00	100,00		100,00	
DIF. DA AMOSTRA		-	-		0,50	0,10		0,05	
MÓDULO DE FINURA				2,07			2,06	**2,07**	
DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA:				**2,4**				-	

Tabela 5 - Faixa granulométrica do agregado miúdo de acordo com a NBR 7211

FAIXAS GRANULOMÉTRICAS-NBR 7211 AGR P/CONCRETO											
ZONA-1			**ZONA-2**			**ZONA-3**			**ZONA-4**		
MUITO FINA			FINA			MÉDIA			GROSSA		
0			0			0			0		
0	-	3	0	-	7	0	-	7	0	-	7
0	-	5	0	-	10	0	-	11	0	-	12
0	-	5	0	-	15	0	-	25	5	-	40
0	-	10	0	-	25	10	-	45	30	-	70
0	-	20	21	-	40	41	-	65	66	-	85
50	-	85	60	-	88	70	-	92	80	-	95
85	-	100	90	-	100	90	-	100	90	-	100
100			100			100			100		
FAIXA GRANULOMÉTRICA											
DETERMINE A ZONA:						**2**					
						Areia Fina					

O gráfico a seguir mostra a curva granulométrica da areia para as peneiras da série normal.

Gráfico 1- Granulometria da areia



b)Massa Especifica

Realizou-se também o ensaio de Massa Especifica de acordo com a norma NBR-6508. Para o ensaio de massa especifica pesou-se 50g.

Método de cálculo:

Equação 1 – Calculo de massa especifica

$$\frac{MAS}{MAS + MPCA - MPSA} = \frac{50{,}0}{(\ 50{,}0 + 631{,}6 - 662{,}6\ )} = 2{,}63\ g/cm^3$$

Onde:

MAS: Massa agregado seco

MPCA: Massa picnômetro cheio de água

MPSA: Massa picnômetro+solo+água

c)Massa Unitária

O ensaio de massa unitária foi realizado de acordo com a norma NBR-7251, onde utilizou um recipiente cilíndrico de volume igual 19,63 cm³

Método de cálculo:

Equação 2 - Calculo da massa unitária

$$\frac{MA}{VR} = \frac{303{,}90}{19{,}63} = 15{,}48 g/cm^3$$

Onde:

MA: Massa do agregado

VR: Volume do recipiente

3.4.1.3 Aditivo Superplastificante

O Aditivo superplastificante utilizado para esta pesquisa foi o SikaViscoCrete 3535 CB, que é um aditivo de terceira geração a base de policarboxilato para concretos de alto desempenho e auto-adensaveis. Todos os teores utilizados nos traços desta pesquisa foram considerados o teor de sólidos do superplastificante e retirados na quantidade de água final da mistura. A tabela a seguir mostra as características do aditivo em questão segundo o fabricante:

Tabela 6- Características do aditivo superplastificante

Aditivo	SikaViscocrete 3535 CB
Ação principal	Redutor de água de altissimaeficiencia
Composição básica	Solução de palicarboxilato em meio aquoso
Aspecto	Líquido
Cor	Castanho Claro
Densidade	1,08 ± 0,02 kg/litro
PH	5,0 ± 1,0
Teor de sólidos	34 a 38%

3.4.1.4 Aditivo Modificador de viscosidade

O aditivo modificador de viscosidade escolhido pertence a mesma empresa fabricante do superplastificante, o SikaPump é um agente reológico para concreto bombeado. A tabela a seguir apresenta às características técnicas deste produto segundo a empresa fabricante:

Tabela 7 - Características do aditivo modificador de viscosidade

Aditivo	SikaPump
Ação principal	Melhorar as propriedades reológicas e visco elásticas
Composição básica	Solução aquosa de polímeros (poliéter)
Aspecto	Líquido pegajoso
Cor	Amarelo
Densidade á	1,00 ± 0,05 kg/litro
PH	9,0 ± 1,0

3.4.2 Segunda fase: Testes experimentais

3.4.2.1 Método de dosagem

Para a realização da dosagem dos materiais desta fase da pesquisa a determinação dos teores foi realizada respaldando-se na literatura base deste trabalho, já citado anteriormente e nas fichas técnicas de alguns itens, para definir a quantidade de material a ser utilizada por m³ de mistura de acordo com as recomendações do frabricante.

A tabela seguir demonstra a primeira definição quantitativa de materiais levando em consideração 1m³ de argamassa autonivelante.

Tabela 8 - Quantitativo de materiais por m³

FATORES	NÍVEIS	
	N1	N2
Consumo de Cimento (kg/m³)	300	500
Consumo de Aditivo Superplastificante (%)	0,50	1,30
Consumo de Aditivo Modificador de Viscosidade (%)	0,00	0,30
Relação A/C	0,50	0,70

Definidos estes teores, foram feitas a partir de então combinações variando item por item e mantendo o restante fixo, em que cada variação de um item correspondia a um teste experimental diferente.

Definidos os parâmetros de dosagem deu-se início ao processo de confecção da argamassa em laboratório. Todo processo de mistura da argamassa foi realizado em uma argamassadeira e o consumo de materiais adaptado para 1L de mistura, sendo esta quantidade a capacidade mínima do equipamento. Todos os materiais foram dosados, exceto o agregado miúdo que entrou em função do restante de itens para completar a quantidade de 1L, este cálculo foi feito por meio da equação a

seguir onde leva em consideração a massa especifica de cada material especificadas na próxima tabela, definidas de acordo com fichas técnicas.

Equação 3 - Quantificação da areia na mistura

$$1\ L = \frac{Cimento}{\rho} + \frac{SP}{\rho} + \frac{VMA}{\rho} + \frac{água}{\rho} + \frac{Areia}{\rho}$$

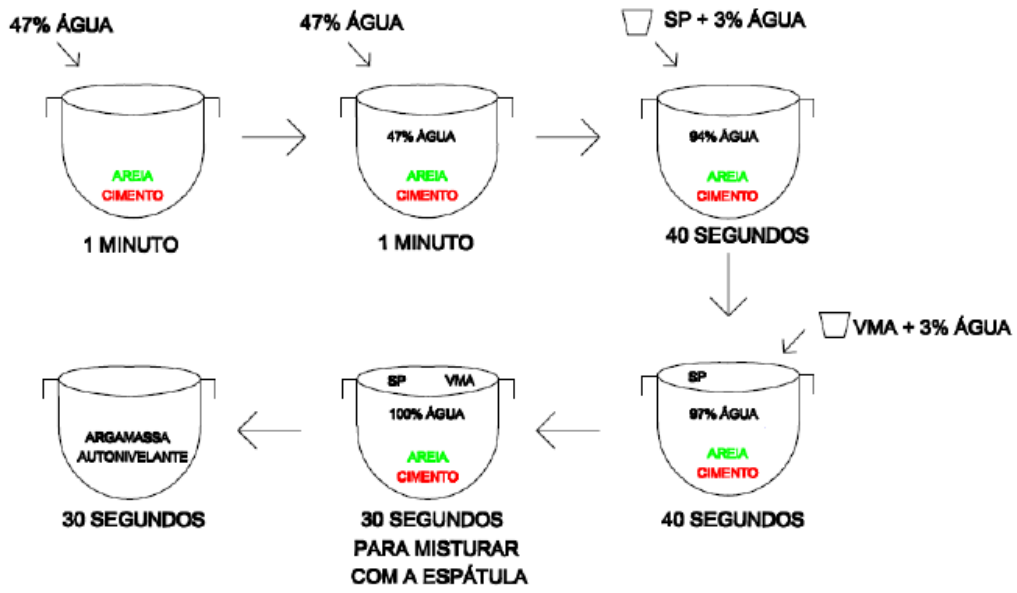
Figura 13 - Argamassadeira utilizada nos testes experimentais

Tabela 9 - Massa especifica dos materiais

Massas Especificas	g/l
Areia	2630
Cimento	3100
Superplastificante	1080
Modificador de viscosidade	1000
Água	1000

O processo de mistura dos materiais na argamassadeira foi feito em parcelas e com base no esquema mostrado na imagem a seguir. Esquema este que demonstra e mesmo processo de mistura que foi utilizado na pesquisa de SOUZA, FERREIRA e AZEVEDO, 2012 pesquisa esta que foi utilizada como base desta monografia.

Figura 14 - Processo de mistura dos materiais na argamassadeira



FONTE: (SOUZA; FERREIRA; AZEVEDO, 2012)

Nesta fase experimental, de acordo com a realização dos testes em laboratório foram feitos ajustes na quantidade de materiais para se chegar a uma faixa considerada “ótima”. No total foram realizados 10 testes experimentais com diferentes teores de materiais como mostra a tabela a seguir.

Tabela 10 - Dosagem da fase experimental

TESTES EXPERIMENTAIS	Consumo de cimento	Consumo de Superplastificante	Consumo de Modificador de viscosidade	Relação A/C
Teste 1	300 kg/m³	0,5%	0,0%	0,50
Teste 2	600 kg/m³	3,0%	0,0%	0,50
Teste 3	600 kg/m³	1,5%	0,0%	0,50
Teste 4	500 kg/m³	1,5%	0,0%	0,65
Teste 5	500 kg/m³	1,5%	0,5%	0,50
Teste 6	500 kg/m³	2,0%	0,5%	0,55
Teste 7	500 kg/m³	3,0%	1,0%	0,55
Teste 8	500 kg/m³	3,5%	1,5%	0,55
Teste 9	700 kg/m³	2,0%	0,5%	0,50
Teste 10	700 kg/m³	1,1%	0,4%	0,48

Após a realização do décimo teste experimental considerou-se este uma faixa “ótima” da mistura e a partir de então se formulou uma nova tabela de testes experimentais com teores de materiais próximos.

A tabela a seguir mostra a quantificação de materiais para a próxima fase de testes experimentais da pesquisa, onde os novos teores da mistura foram definidos a partir do ensaio 10 da tabela anterior e adicionando mais um nível para equilibrar as variações tanto para mais como para menos.

Tabela 11 - Teores de materiais da terceira fase de testes experimentais

FATORES	NÍVEIS		
	N1	N2	N3
Consumo de Cimento (kg/m³)	600	700	800
Consumo de Aditivo Superplastificante (%)	1,00	1,50	2,00
Consumo de Aditivo Modificador de Viscosidade (%)	0,40	0,40	0,40
Relação A/C	0,45	0,50	0,55

A partir destes fatore foram feitas novas combinações que totalizaram 27 testes experimentais a serem feitos e ensaiados no estado fresco e endurecido com os testes já mencionados anteriormente. A tabela a seguir mostra essas combinações

Tabela 12 - Combinações entre fatores e níveis

Combinações	Consumo de cimento Kg/m³	Consumo de SP	Relação A/C
Teste 1	600	1,0%	0,45
Teste 2	700	1,0%	0,45
Teste 3	800	1,0%	0,45
Teste 4	600	1,5%	0,45
Teste 5	700	1,5%	0,45
Teste 6	800	1,5%	0,45
Teste 7	600	2,0%	0,45
Teste 8	700	2,0%	0,45
Teste 9	800	2,0%	0,45
Teste 10	600	1,0%	0,50
Teste 11	700	1,0%	0,50
Teste 12	800	1,0%	0,50
Teste 13	600	1,5%	0,50
Teste 14	700	1,5%	0,50
Teste 15	800	1,5%	0,50
Teste 16	600	2,0%	0,50
Teste 17	700	2,0%	0,50
Teste 18	800	2,0%	0,50
Teste 19	600	1,0%	0,55
Teste 20	700	1,0%	0,55
Teste 21	800	1,0%	0,55
Teste 22	600	1,5%	0,55
Teste 23	700	1,5%	0,55
Teste 24	800	1,5%	0,55
Teste 25	600	2,0%	0,55
Teste 26	700	2,0%	0,55
Teste 27	800	2,0%	0,55

Por meio destas combinações pode-se determinar a quantidade de material usado para cada teste de acordo com as proporções pré-determinadas anteriormente. A tabela a seguir demonstra a quantidade de material utilizada para 1,5 L de mistura, em razão da quantidade de corpos-de-prova que deveria ser moldado para cada teste e considerando as perdas do processo.

Tabela 13 - Quantificação de materiais para os testes experimentais finais

Quantificação de Materiais em relação a 1,50L	Cimento (g)	SP (g)	Areia (g)	Água (g)
Teste 1	900	9,0	2115	399
Teste 2	1050	10,5	1810	466
Teste 3	1200	12,0	1505	532
Teste 4	900	13,5	2119	396
Teste 5	1050	15,8	1815	462
Teste 6	1200	18,0	1511	528
Teste 7	900	18,0	2124	393
Teste 8	1050	21,0	1820	459
Teste 9	1200	24,0	1516	525
Teste 10	900	9,0	1997	444
Teste 11	1050	10,5	1672	518
Teste 12	1200	12,0	1347	592
Teste 13	900	13,5	2001	441
Teste 14	1050	15,8	1677	515
Teste 15	1200	18,0	1353	588
Teste 16	900	18,0	2005	438
Teste 17	1050	21,0	1682	512
Teste 18	1200	24,0	1359	585
Teste 19	900	9,0	1879	489
Teste 20	1050	10,5	1534	571
Teste 21	1200	12,0	1190	652
Teste 22	900	13,5	1883	486
Teste 23	1050	15,8	1539	567
Teste 24	1200	18,0	1195	648
Teste 25	900	18,0	1887	483
Teste 26	1050	21,0	1544	564
Teste 27	1200	24,0	1201	645
TOTAL	28.350,00	425,25	45.280,73	13.902,84

Todos os testes experimentais foram realizados considerando o mesmo processo de mistura dos materiais, com o mesmo processo para a realização do ensaio de determinação do índice de consistência e duas idades distintas para o ensaio e Resistência a Compressão, idade de 3 dias e 28 dias. Todos os CP’s foram moldados da mesma maneira e retirados 24 horas após a moldagem, exceto alguns teste com teores mais elevados de aditivo superplastificantes que tiveram

retardamento na pega e tiveram a necessidade de serem desmoldados apenas 48 horas após. Estes testes são demonstrados nos resultados desta pesquisa.

3.5 Ensaios realizados

3.5.1 Estado fresco

No estado fresco foi realizado o ensaio de determinação do índice de consistência baseados na NBR 13276 (ABNT, 2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência, mas foram feitas adaptações para ser viável a realização do ensaio em razão da elevada fluidez da mistura. Não foi utilizado o tronco de cone indicado na NBR em razão do laboratório não possuir este equipamento, foi utilizado um cilindro de metal possuindo um diâmetro interno de 72,00mm e diâmetro externo de 76,00mm e uma altura de 98,00mm. Não foram aplicados golpes, apenas verificado a fluidez da mistura após a retirada do cilindro e medido dois diâmetros ortogonais.

O processo de realização do ensaio se dava da seguinte maneira:

- Mistura dos materiais na argamassadeira com base no processo demonstrado anteriormente;
- Preenchia o cilindro com a mistura, depois era feito a nivelação com o auxílio de uma espátula;
- Retirava o cilindro de maneira uniforme e devagar;
- Aguardava o espalhamento da mistura parar;
- Media os diâmetros;
- Retornava a mistura da mesa para a argamassadeira misturava por mais 30 segundos e moldava os corpos-de-prova.

A imagem a seguir mostra o cilindro e a mesa que foram utilizados para a realização dos ensaios.

Figura 15 - Mesa e cilindro utilizado para ensaio de consistência

3.5.2 Estado endurecido

Para o estado endurecido foi realizado o ensaio de resistência a compressão com base na NBR 7215 (ABNT, 1996) – Cimento Portland -Determinação da resistência à compressão, no qual se considerou duas idades distintas de 3 e 28 dias. Neste ensaio também foram feitas adaptações, devido a fluidez da mistura, na fase de moldagem dos corpos-de-prova em que não foram aplicados golpes para o adensamento da mistura. Também não foi realizado o capeamento como recomenda a NBR. A imagem a seguir mostra o equipamento utilizado na realização do ensaio.

Figura 16 - Prensa utilizada no ensaio de resistência a compressão

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise dos resultados desta pesquisa foram considerados dois estados da mistura e feita a analise das propriedades, estado fresco e estado endurecido.

4.1 Análise do estado fresco

4.1.1 Testes experimentais finais

Todos os experimentos finais foram fotografados no ensaio de determinação do índice de consistência para avaliar a fluidez da mistura, a uniformidade da borda e a presença ou não de segregação, foram feitos ainda a medição de dois diâmetros ortogonais da mistura. Todos os traços usados em cada teste estão descritos na Tabela 12 e os diâmetros medidos na Tabela 13.

A seguir estão demonstrados os registros de todos os testes com fotos e seus traços respectivos.

a) O primeiro teste a ser realizado, observou-se a não presença de segregação, as bordas pouco desuniforme e uma boa fluidez como mostras a figura a seguir.

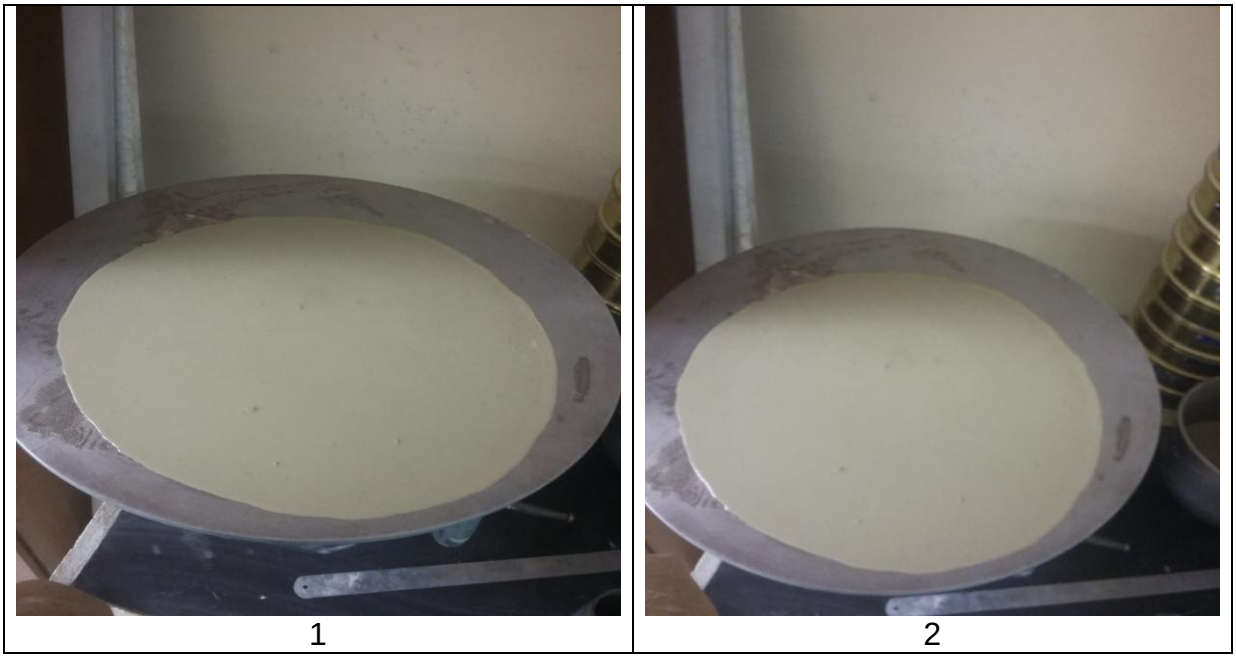
Figura 17 - Teste 1 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

b)O segundo teste já pode ser observado uma fluidez maior da mistura, também a falta de segregação e bordas relativamente uniformes.

Figura 18 -Teste 2 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

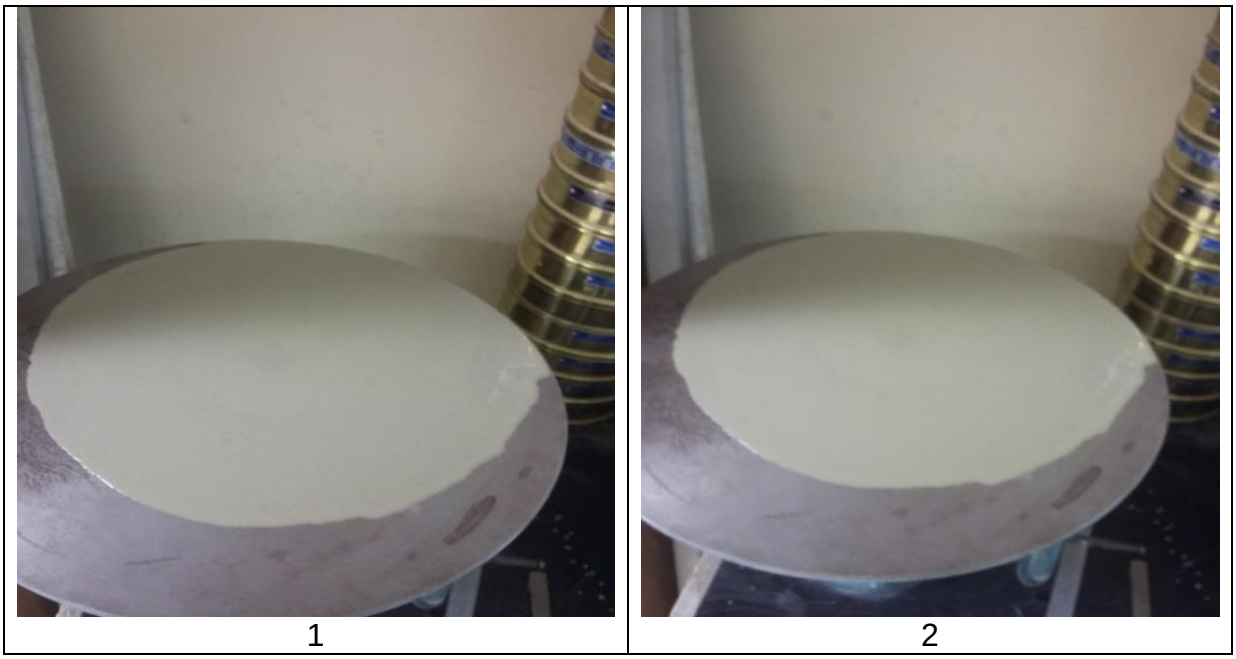


1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

O teste 3 obteve uma fluidez bastante elevada, fluidez esta que impossibilitou a medição dos diâmetros pois a mistura ultrapassou os limites da mesa de consistência.

Figura 19 - Teste 3 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)



1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

c)O teste 4 a fluidez foi menor em razão dos teores de materiais, já se pode verificar a presença de segregação como mostra a imagem e bordas com boa uniformidade.

Figura 20 - Teste 4 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

d)O teste 5 obteve uma boa fluidez, bordas com boa uniformidade e a não presença de segregação da mistura como pode ser verificado a seguir.

Figura 21 - Teste 5 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

e)O teste 6 obteve uma grande fluidez na qual ultrapassou os limites da mesa de teste de consistência impossibilitando também a medição dos diâmetros ortogonais.

Figura 22 -Teste 6 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

f)O teste 7 também é notório a presença de segregação na mistura, pode-se verificar também uma fluidez menor bordas e uniformidade das bordas boa.

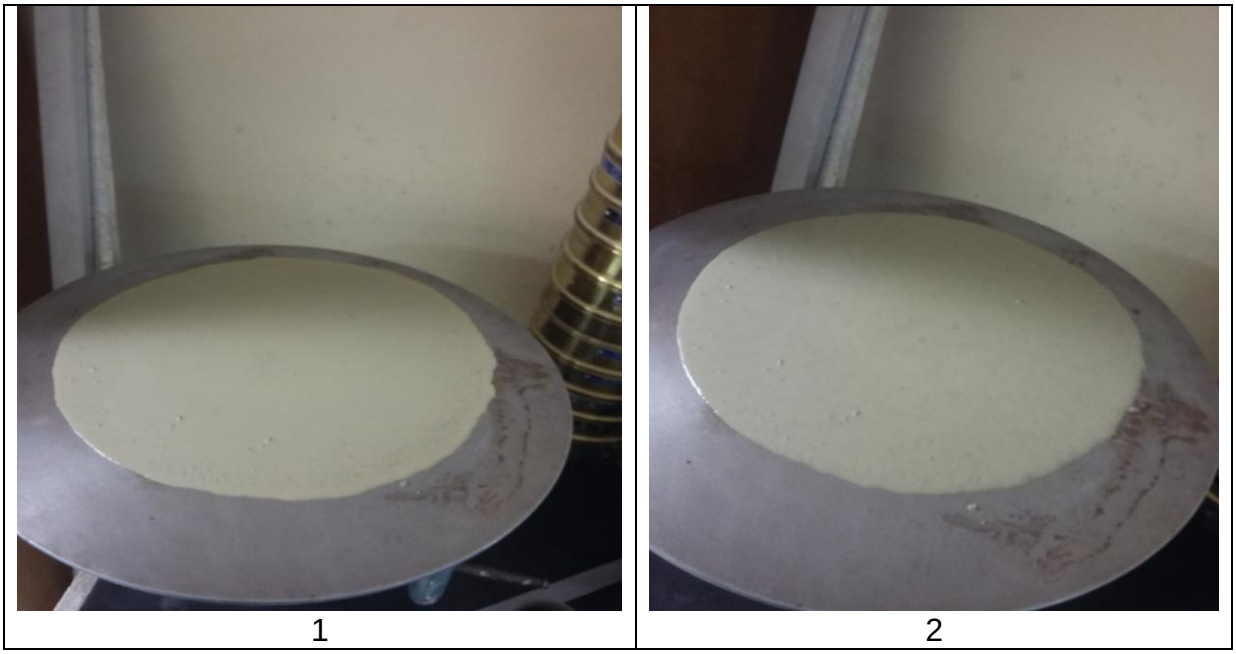
Figura 23 - Teste 7 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

g)Teste 8 com boa fluidez, pode verificar também a falta de segregação na mistura e uma uniformidade de bordas relativamente boa.

Figura 24 - Teste 8 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)

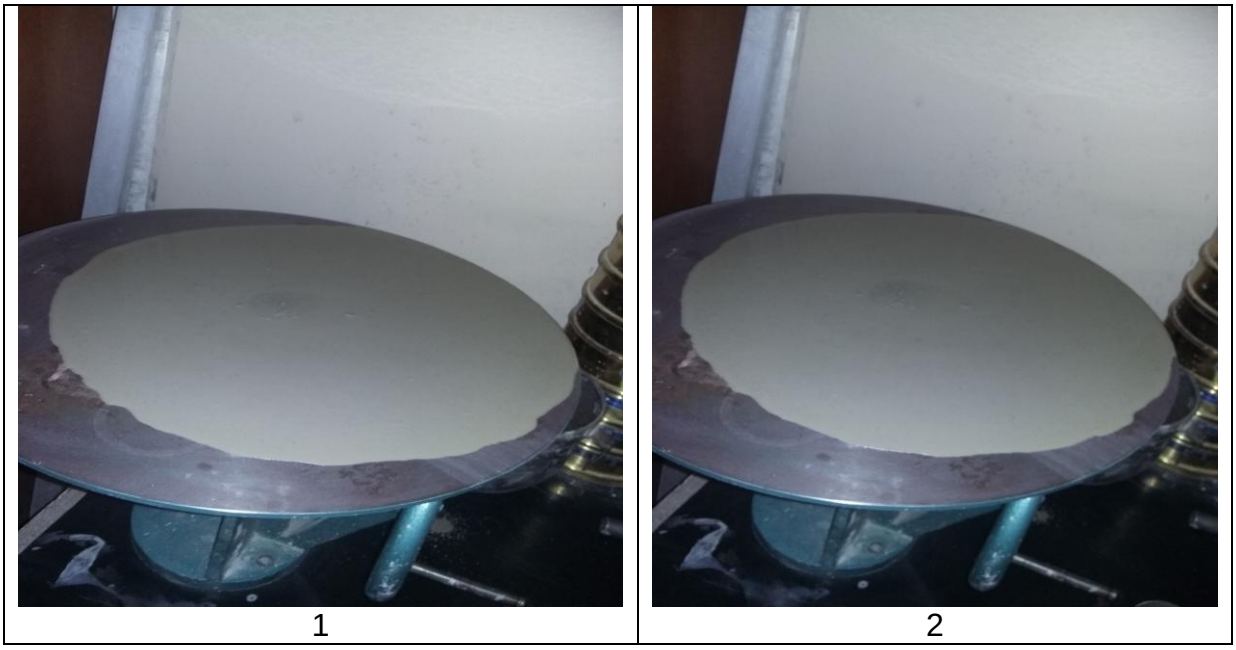


1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

h)Teste 9 muita fluidez com a presença de não segregação e bordas desuniformes como mostra a seguir.

Figura 25 - Teste 9 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,45)



1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

i)Teste 10 é nítido a presença de forte segregação onde pode-se verificar a separação da pasta com a mistura.

Figura 26 - Teste 10 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

j)O teste 11 obteve uma grande fluidez com bordas desuniformes e transbordo da mesa de testes de consistência, impossibilitando medir os diâmetros.

Figura 27 - Teste 11 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

k)Teste 12 com bordas desuniformes, transbordo da mesa de consistência e não presença de segregação.

Figura 28 - Teste 12 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

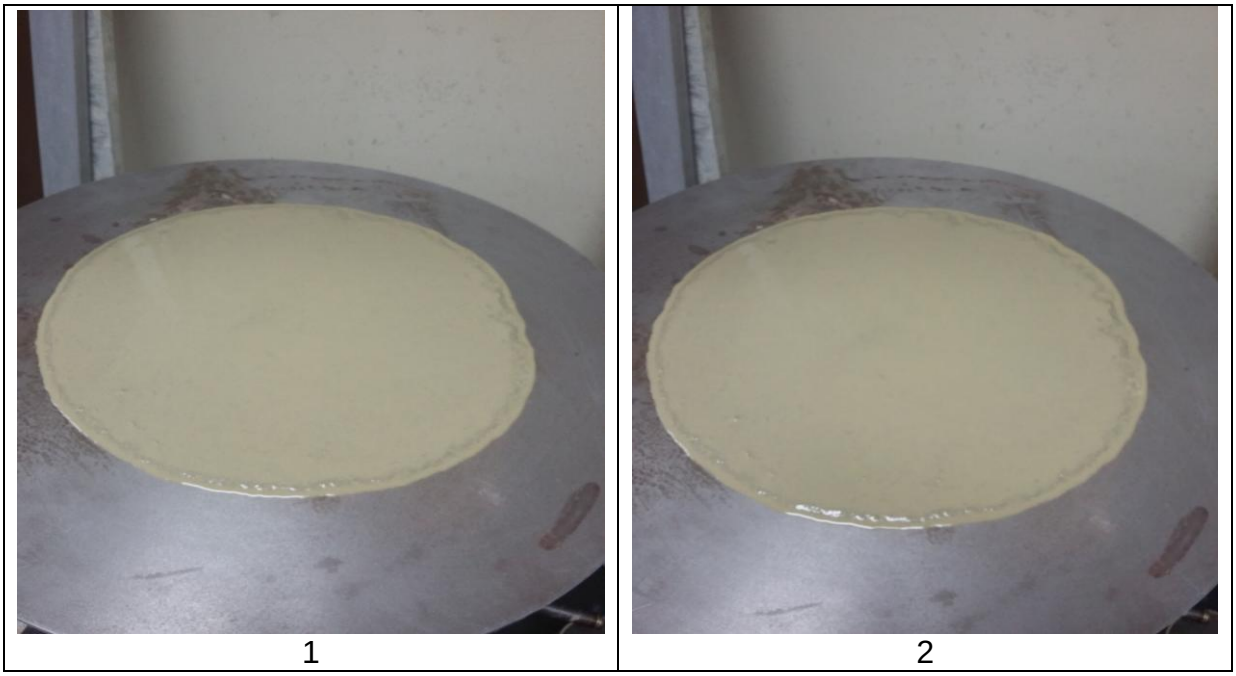
1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

l)Teste 13 visível segregação da mistura, com bordas desuniformes, mas uma boa fluidez.

Figura 29 - Teste 13 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

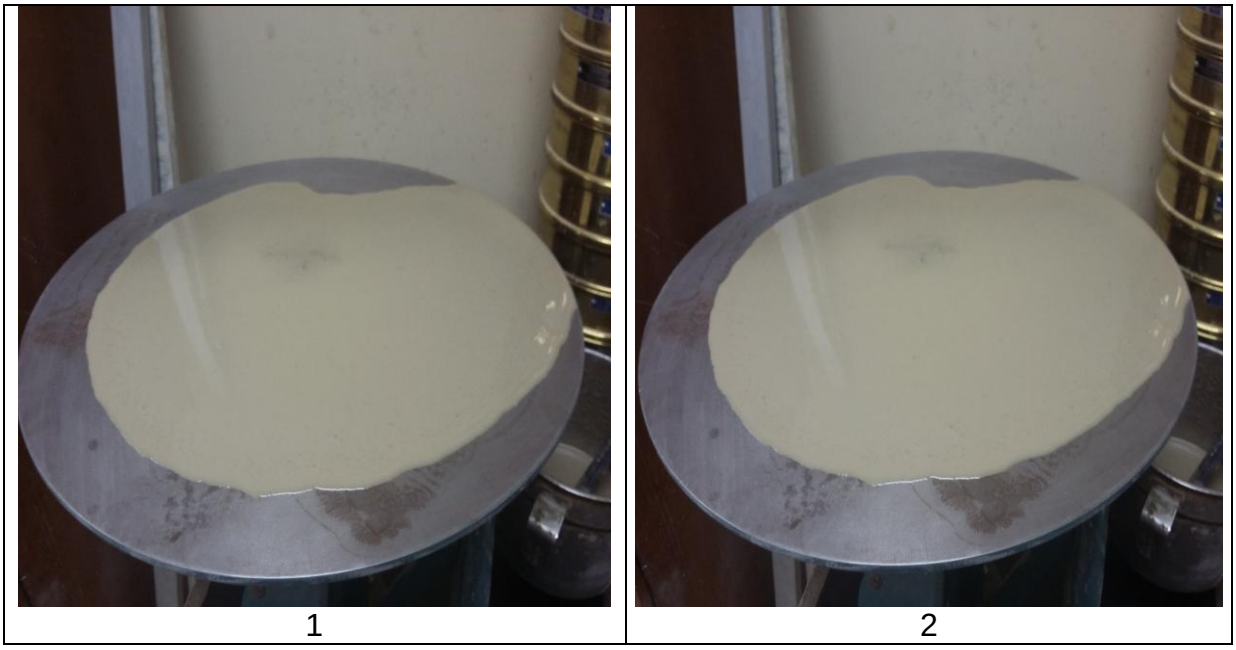


1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

m)O teste 14 verifica-se a presença de exsudação, com fluidez elevada e bordas desuniformes.

Figura 30 - Teste 14 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

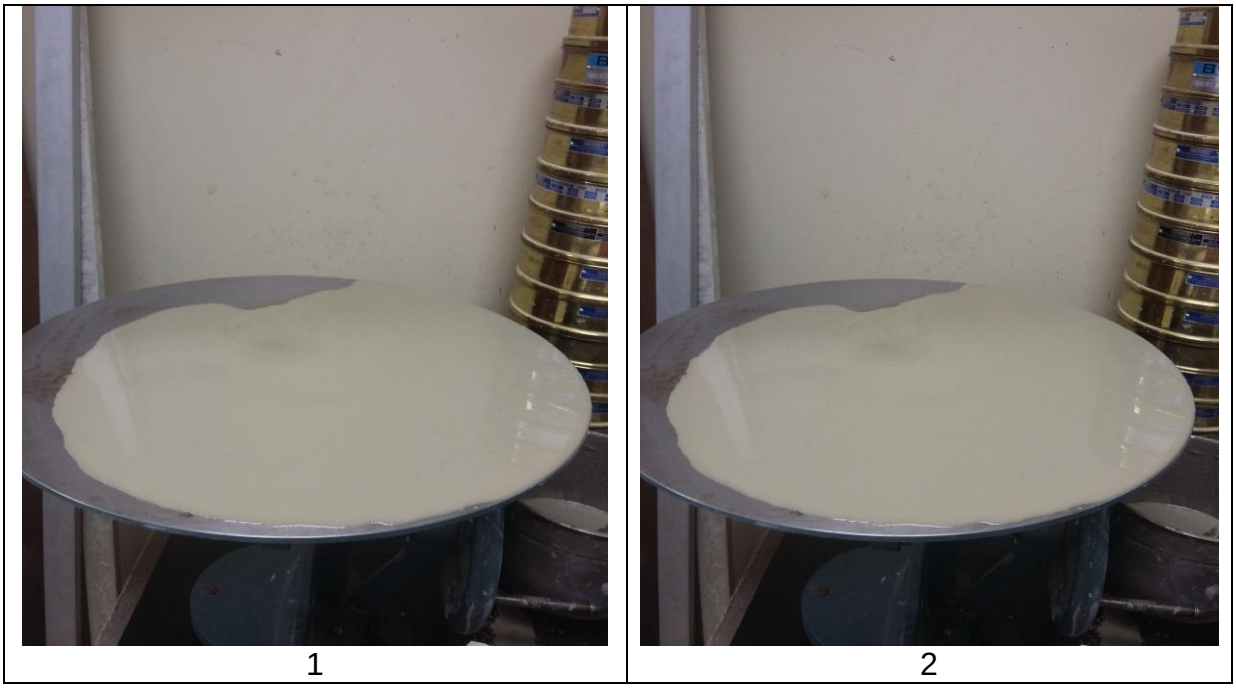


1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

n)Teste 15 borda totalmente desuniformes, presença de segregação e uma alta fluidez da mistura.

Figura 31 - Teste 15 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)



1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

o)Teste 16 forte presença de exsudação, bordas desuniformes e uma fluidez relativamente boa.

Figura 32 - Teste 16 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

p)O teste 17 houve transbordo da mesa devido sua grande fluidez com bordas desuniformes.

Figura 33 - Teste 17 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

q)Teste 18 presença de segregação, transbordo da mesa de consistência e bordas desuniformes.

Figura 34 - Teste 18 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,50)

1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

r)Teste 19 com bordas desuniformes, boa fluidez e a não presença de segregação na mistura.

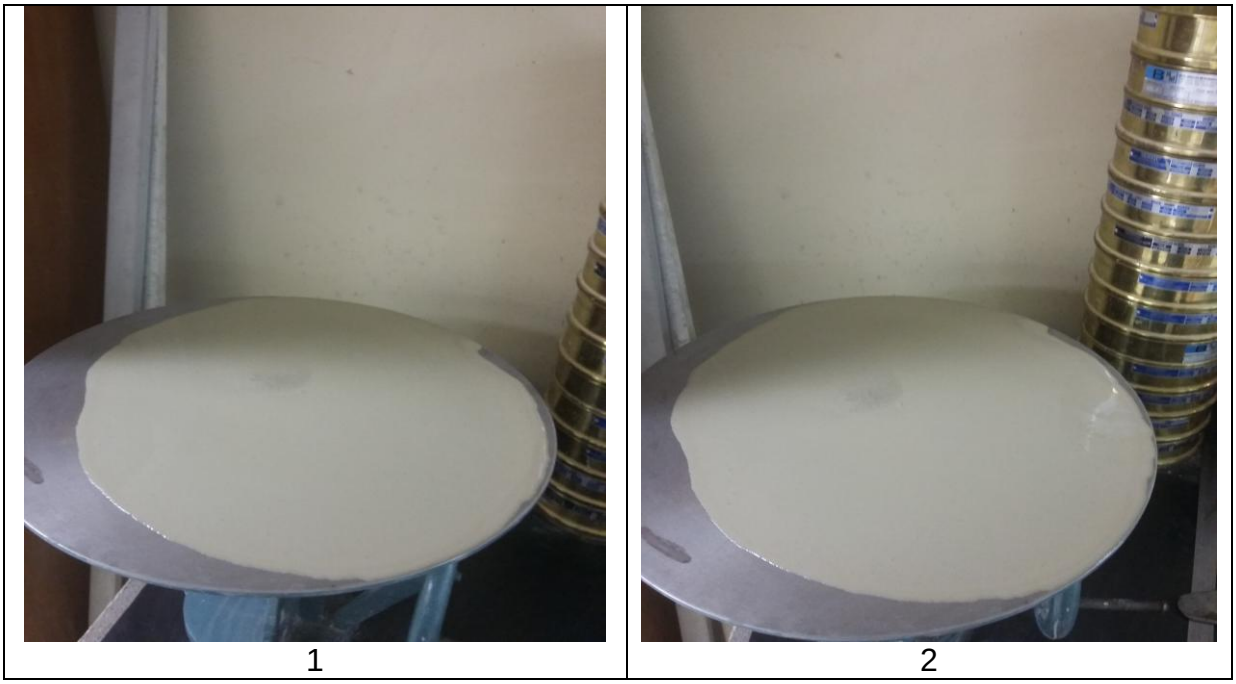
Figura 35 - Teste 19 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

s)Teste 20 devido a fluidez muito alta houve o transbordo da mesa de testes de consistência, com bordas desuniformes e presença de segregação.

Figura 36 - Teste 20 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)



1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

t)Teste 21 fluidez bastante elevada com presença de segregação e bordas totalmente desuniformes.

Figura 37 - Teste 21 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

u)Teste 22 forte presença de segregação, bordas totalmente desuniformes, mas em contrapartida possui uma boa fluidez.

Figura 38 - Teste 22 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

v)Teste 23 com fluidez muito elevada levou ao transbordo da mesa de consistência, bordas levemente desuniformes.

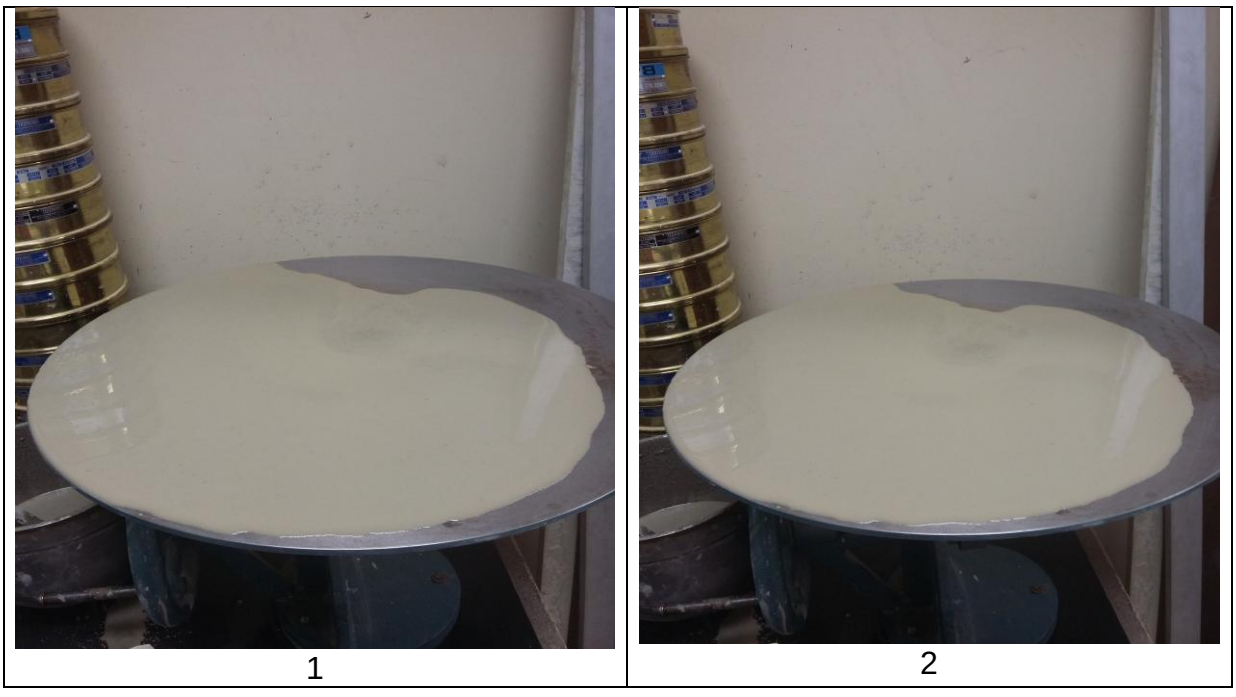
Figura 39 - Teste 23 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

w)Teste 24 fluidez muito elevada levou ao transbordo da mesa, com visível segregação, bordas totalmente desuniforme.

Figura 40 - Teste 24 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 1,5%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

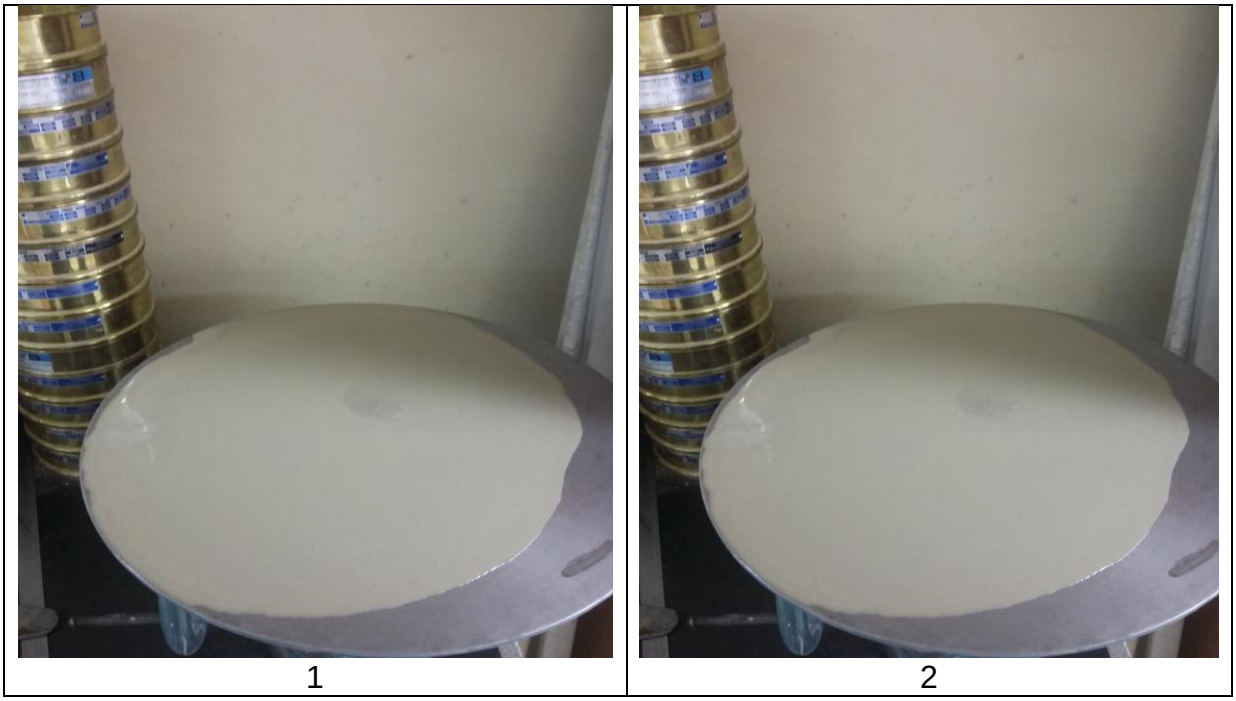


1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

x)Teste 25 com fluidez muito alta levou ao transbordo imediato da mistura na mesa de consistência com bordas irregulares e visível segregação.

Figura 41 - Teste 25 (Traço: C = 600 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

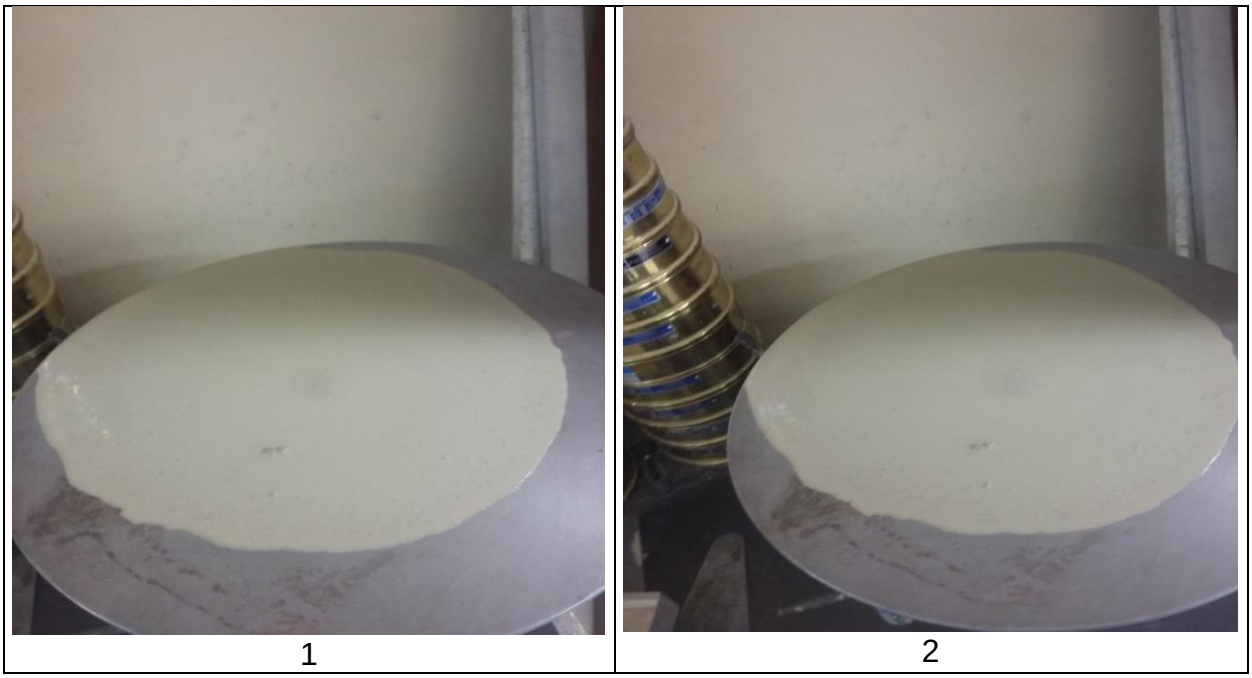


1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

y)Teste 26 presença de segregação na mistura bordas desuniformes e transbordo da mistura na mesa.

Figura 42 - Teste 26 (Traço: C = 700 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)



1 2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

z)Teste 27 visível presença de segregação com bordas totalmente desuniformes transbordo da mesa de consistência.

Figura 43 - Teste 27 (Traço: C = 800 kg/m³; SP = 2,0%; VMA = 0,4%; a/c = 0,55)

1

2

LEGENDA: C= cimento; SP= superplastificante; VMA= modificador de viscosidade.

4.1.1.1 Analise visual do índice de consistência da mistura

A tabela a seguir demonstra os diâmetros ortogonais retirados no estado fresco, após a realização do ensaio de índice de consistência de todos os testes experimentais, os campos em que constam a medida de 50 cm, presente na tabela, indicam que a mistura ultrapassou os limites da mesa, que possui a mesma medida de diâmetro, uma vez que a fluidez da mistura é muito alta.

Tabela 14 - Diâmetros medidos no estado fresco

Testes Experimentais	Diâmetro 1 (cm)	Diâmetro 2 (cm)	Média dos diâmetros
Teste 1	25	27	26
Teste 2	39	39	39
Teste 3	50	50	50
Teste 4	27	28	28
Teste 5	38	39	39
Teste 6	50	50	50
Teste 7	28	29	28
Teste 8	38	36	37
Teste 9	50	50	50
Teste 10	36	38	37
Teste 11	50	50	50
Teste 12	50	50	50
Teste 13	35	39	37

Teste 14	50	50	50
Teste 15	50	50	50
Teste 16	36	38	37
Teste 17	50	50	50
Teste 18	50	50	50
Teste 19	35	38	36
Teste 20	50	50	50
Teste 21	50	50	50
Teste 22	38	38	38
Teste 23	50	50	50
Teste 24	50	50	50
Teste 25	50	50	50
Teste 26	50	50	50
Teste 27	50	50	50

A tabela 15 apresenta os resultados do espalhamento da mistura para o teor de cimento de 600kg/m³ e variação de a/c (0,45, 0,50 e 0,55), SP (1,0%, 1,5% e 2,00%) e aditivo modificador de Viscosidade fixado em 0,40%.

Tabela 15 - Analise do índice de consistência para teor de cimento 600 kg/m³

Testes	a/c	Teor de cimento	SP	Espalhamento		Média	Análise Visual			
				D1	D2		Borda		Separação do Material	
		(g)	(%)	(cm)	(cm)	(cm)	U	D	SS	CS
Teste 1	0,45	600 kg/m³	1,0	25	27	26				
Teste 4	0,45	600 kg/m³	1,5	27	28	28				x
Teste 7	0,45	600 kg/m³	2,0	28	29	28				x
Teste 10	0,50	600 kg/m³	1,0	36	38	37				x
Teste 13	0,50	600 kg/m³	1,5	35	39	37		x		x
Teste 16	0,50	600 kg/m³	2,0	36	38	37		x		
Teste 19	0,55	600 kg/m³	1,0	35	38	36		x		x
Teste 22	0,55	600 kg/m³	1,5	38	38	38		x		x
Teste 25	0,55	600 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x

Legenda: U= Uniforme; D= Desuniforme; SS= sem segregação; CS= com segregação; Pasta Ideal

Esta tabela demonstra que apenas uma formulação dentre as nove que a compõe é considerada ideal, por possuir bordas uniformes e a não presença de segregação. Estes aspectos são importantes, pois a uniformidade das bordas geralmente indica que há coesão e consequentemente a falta de segregação.

A tabela 16 apresenta os resultados do espalhamento da mistura para o teor de cimento de 700kg/m³ e variação de a/c (0,45, 0,50 e 0,55), SP (1,00%, 1,50% e 2,00%) e aditivo modificador de Viscosidade fixado em 0,40%.

Tabela 16 - Analise do índice de consistência para teor de cimento 700 kg/m³

Testes	a/c	Teor de cimento	SP	Espalhamento		Média	Análise Visual			
				D1	D2		Borda		Separação do Material	
		(g)	(%)	(cm)	(cm)	(cm)	U	D	SS	CS
Teste 2	0,45	700 kg/m³	1,0	39	39	39				
Teste 5	0,45	700 kg/m³	1,5	38	39	39				x
Teste 8	0,45	700 kg/m³	2,0	38	36	37				x
Teste 11	0,50	700 kg/m³	1,0	50	50	50				x
Teste 14	0,50	700 kg/m³	1,5	50	50	50		x		x
Teste 17	0,50	700 kg/m³	2,0	50	50	50		x		
Teste 20	0,55	700 kg/m³	1,0	50	50	50		x		x
Teste 23	0,55	700 kg/m³	1,5	50	50	50		x		x
Teste 26	0,55	700 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x

Legenda: U= Uniforme; D= Desuniforme; SS= sem segregação; CS= com segregação; Pasta Ideal

Em relação ao consumo de cimento de 700 kg/m³ novamente apensas uma formulação dentre as nove é considerada ideal dentro dos padrões especificados neste trabalho.

Pode ser observado que as duas formulações consideradas ideais para os dois consumos de cimento possui um baixo consumo no teor de superplastificante e da relação a/c, pois o alto consumo dos mesmo geram maior tendência a segregação da mistura. Pode ser observado que a medida que aumenta os teores de aditivo SP e da relação a/c a fluidez aumenta, mas a frequência de segregação é constante.

A tabela 17 apresenta os resultados do espalhamento da mistura para o teor de cimento de 800kg/m³ e variação de a/c (0,45, 0,50 e 0,55), SP (1,00%, 1,50% e 2,00%) e aditivo modificador de Viscosidade fixado em 0,40%.

Tabela 17 - Analise do índice de consistência para teor de cimento 800 kg/m³

Testes	a/c	Teor de cimento	SP	Espalhamento		Média	Análise Visual			
				D1	D2		Borda		Separação do Material	
		(g)	(%)	(cm)	(cm)	(cm)	U	D	SS	CS
Teste 3	0,45	800 kg/m³	1,0	50	50	50		x		
Teste 6	0,45	800 kg/m³	1,5	50	50	50		x		x
Teste 9	0,45	800 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x
Teste 12	0,50	800 kg/m³	1,0	50	50	50		x		x
Teste 15	0,50	800 kg/m³	1,5	50	50	50		x		x
Teste 18	0,50	800 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x
Teste 21	0,55	800 kg/m³	1,0	50	50	50		x		x

Teste 24	0,55	800 kg/m³	1,5	50	50	50		x		x
Teste 27	0,55	800 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x

Legenda: U= Uniforme; D= Desuniforme; SS= sem segregação; CS= com segregação

A tabela 17 demonstra a análise visual para o consumo de 800 kg/m³ e é possível a observação de que a fluidez da mistura se torna muito alta, mesmo para uma relação a/c baixa e um consumo de superplastificante baixo, pois todas as misturas transbordaram a mesa de Flow Table no qual o ensaio foi realizado.

Com as tabelas 15, 16 e 17 é possível demostrar que o aumento no teor de superplastificante e relação a/c, ocasionou um aumento no diâmetro da mistura por elevar a fluidez e proporcionou também a presença de segregação. Comportamento este já esperado, tendo em vista que na ficha técnica do superplastificante consta que com elevados teores do produto poderá haver forte exsudação, segregação, retardo da pega, podendo levar até ao não endurecimento da mistura ou perda de resistência do mesmo.

Para a análise visual pode ser verificado que os testes com teor de cimento de 800 kg/m³ tem 100% dos testes com borda desuniforme, este é um forte indicio de que há segregação da mistura. Verifica-se também que para a relação água cimento de 0,45 é mais fácil obter bordas uniformes da mistura. Isso fica claro nos testes 1 e 2 por meio das fotos e análise visual, onde se tem bordas uniformes e falta de segregação.

Dentre os testes realizados houve o retardamento da pega de alguns deles como mostra a tabela a seguir. Este retardamento impossibilitou o desmolde dos CP’s com 24h, prolongando assim para 48 horas, com isso houve um comprometimento das resistências a compressão das idades iniciais.

Tabela 18 - Testes que tiveram retardamento da pega

Testes	a/c	Teor de cimento	SP	Espalhamento		Média	Ánalise Visual			
				D1	D2		Borda		Separação do Material	
		(g)	(%)	(cm)	(cm)	(cm)	U	D	SS	CS
Ensaio 8	0,45	700 kg/m³	2,0	38	36	37				x
Ensaio 9	0,45	800 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x
Ensaio 17	0,50	700 kg/m³	2,0	50	50	50		x		
Ensaio 18	0,50	800 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x
Ensaio 26	0,55	700 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x
Ensaio 27	0,55	800 kg/m³	2,0	50	50	50		x		x

Esta analise visual possibilitou a afirmação de que a mistura de argamassa autonivelante deve possuir uma relação a/c baixa em torno de 0,45 e com aditivo superplastificante em torno de 1,00%.

As figuras 44, 45 e 46 mostram as diferenças nos dados de espalhamento das misturas para os três teores de cimento 600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³ e para as relações a/c de 0,45, 0,50 e 0,55 em relação aos teores de aditivo SP de 1,00%, 1,50% e 2,00%. Para os teores mais elevados de SP e relação a/c fica claramente evidenciado que a mistura resulta numa argamassa liquida com presença de segregação, deixando claro também a perda de eficiência do aditivo quando se acrescenta teores em excesso deste material.

Figura 44 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,00%

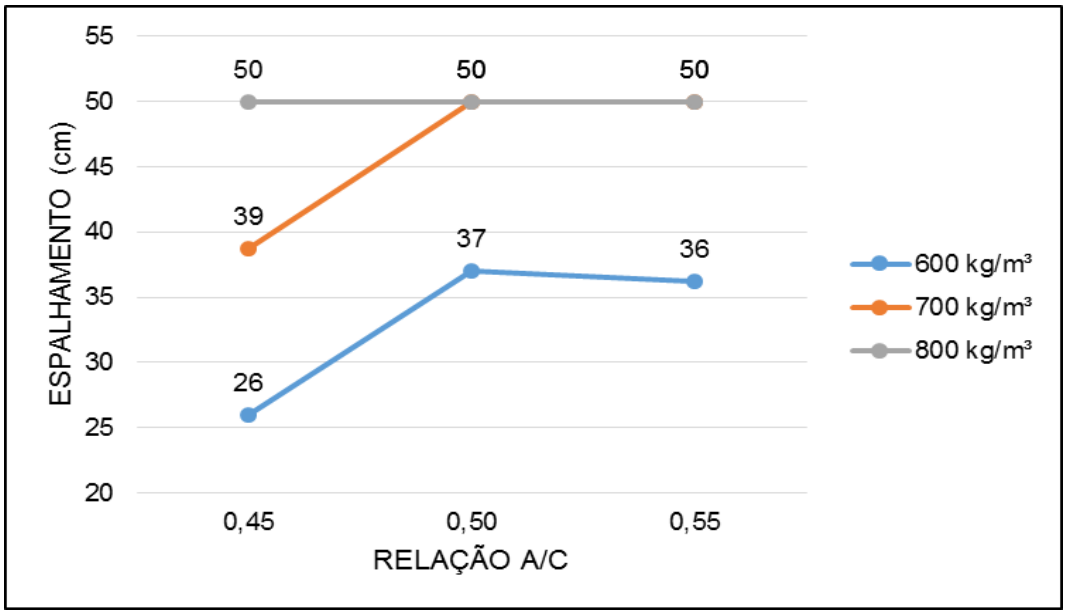


Figura 45 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,50%

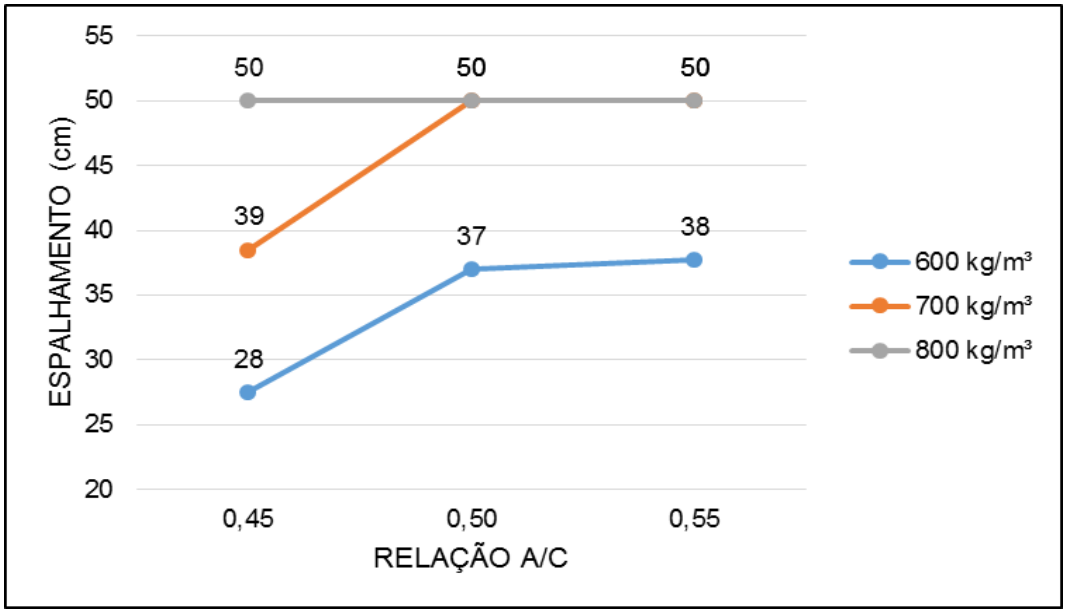
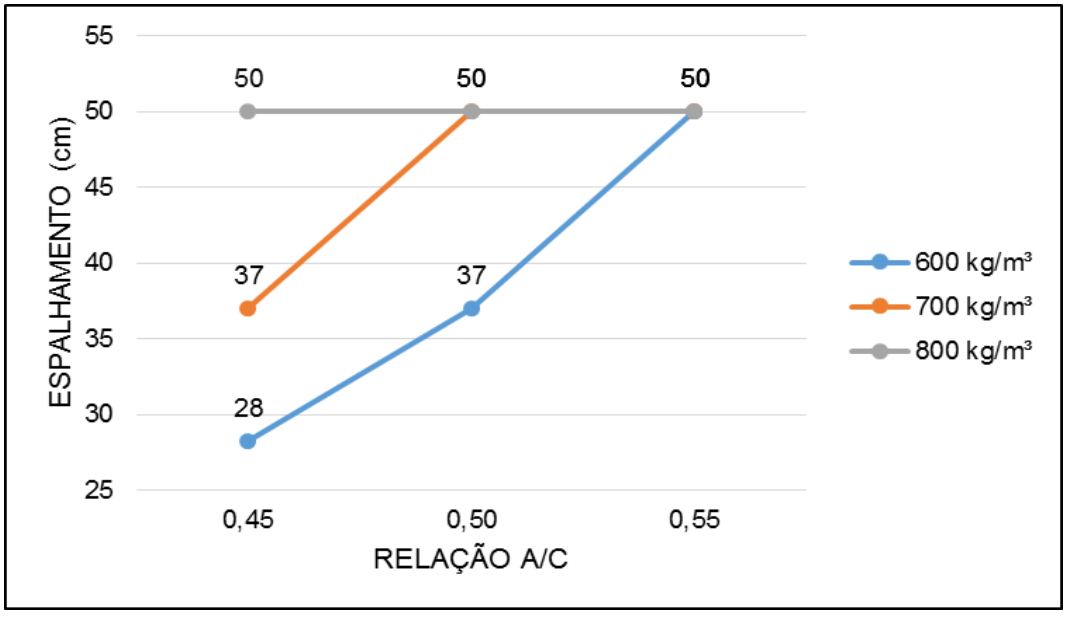


Figura 46 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 2,00%



As misturas consideradas ideais foram os testes 1 e 2, onde pelas características visuais apresentaram uma boa fluidez, com falta de segregação e bordas uniformes. As figura 17 e 18 mostram como as misturas obtiveram uma faixa considerada “ótima” dentro dos parâmetros pré-estabelecidos no início da metodologia deste trabalho.

4.2Análise das propriedades no estado endurecido

4.2.1Resistência a compressão aos 3 dias

A tabela a seguir demonstra os resultados de resistência a compressão dos testes com idade de 3 dias.

Tabela 19 - Tabela com resultados de Resistência a compressão aos 3 dias

Testes Experimentais	Idade (dias)	CP's	Resistência (Mpa)	Média	Desvio Padrão	CV	Max.	Min.
Teste 1	3	1	24,10	24,70	0,72	0,029	25,50	24,10
		2	25,50					
		3	24,50					
Teste 2	3	1	16,00	17,90	1,81	0,101	19,60	16,00
		2	18,10					
		3	19,60					
Teste 3	3	1	17,10	16,17	2,63	0,163	18,20	13,20
		2	18,20					
		3	13,20					
Teste 4	3	1	19,70	21,83	1,86	0,085	23,10	19,70
		2	23,10					
		3	22,70					
Teste 5	3	1	11,70	14,97	3,04	0,203	17,70	11,70
		2	17,70					
		3	15,50					
Teste 6	3	1	15,40	15,67	0,46	0,029	16,20	15,40
		2	15,40					
		3	16,20					
Teste 7	3	1	19,20	19,33	0,91	0,047	20,30	18,50
		2	20,30					
		3	18,50					
Teste 8	3	1	15,10	15,63	0,55	0,035	16,20	15,10
		2	15,60					
		3	16,20					
Teste 9	3	1	11,30	12,90	2,35	0,182	15,60	11,30
		2	15,60					
		3	11,80					
Teste 10	3	1	14,40	16,10	1,57	0,098	17,50	14,40
		2	17,50					
		3	16,40					
Teste 11	3	1	14,80	13,03	1,66	0,128	14,80	11,50
		2	12,80					
		3	11,50					
Teste 12	3	1	7,90	9,17	1,36	0,148	10,60	7,90
		2	9,00					
		3	10,60					
Teste 13	3	1	16,00	15,20	0,70	0,046	16,00	14,70
		2	14,70					
		3	14,90					
Teste 14	3	1	12,90	12,90	1,00	0,078	13,90	11,90
		2	11,90					
		3	13,90					
Teste 15	3	1	11,20	12,97	2,25	0,174	15,50	11,20
		2	15,50					
		3	12,20					
Teste 16	3	1	14,60	13,47	2,32	0,172	15,00	10,80
		2	15,00					
		3	10,80					
Teste 17	3	1	11,60	11,50	0,17	0,015	11,60	11,30

		2	11,30					
		3	11,60					
Teste 18	3	1	10,60	11,70	1,35	0,115	13,20	10,60
		2	11,30					
		3	13,20					
Teste 19	3	1	9,50	8,93	0,90	0,100	9,50	7,90
		2	9,40					
		3	7,90					
Teste 20	3	1	7,70	8,07	1,29	0,160	9,50	7,00
		2	7,00					
		3	9,50					
Teste 21	3	1	9,80	8,87	1,01	0,114	9,80	7,80
		2	9,00					
		3	7,80					
Teste 22	3	1	11,10	11,07	0,55	0,050	11,60	10,50
		2	11,60					
		3	10,50					
Teste 23	3	1	9,30	9,10	0,92	0,101	9,90	8,10
		2	9,90					
		3	8,10					
Teste 24	3	1	7,50	7,67	0,76	0,100	8,50	7,00
		2	7,00					
		3	8,50					
Teste 25	3	1	10,20	10,23	1,05	0,103	11,30	9,20
		2	11,30					
		3	9,20					
Teste 26	3	1	9,90	8,97	0,86	0,096	9,90	8,20
		2	8,20					
		3	8,80					
Teste 27	3	1	9,30	9,00	0,89	0,099	9,70	8,00
		2	8,00					
		3	9,70					

A tabela 19 traz os valores individuais e médios das resistências a compressão de cada CP's e testes com idade de três dias. A seguir serão demonstrados gráficos comparativos que avaliam o comportamento de cada teste no estado endurecido para cada teor de material na mistura.

A seguir serão demonstrados gráficos variando apenas os teores de cimento sendo que relação a/c e teor de aditivo SP permanecem fixos.

Figura 47 – Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,00%

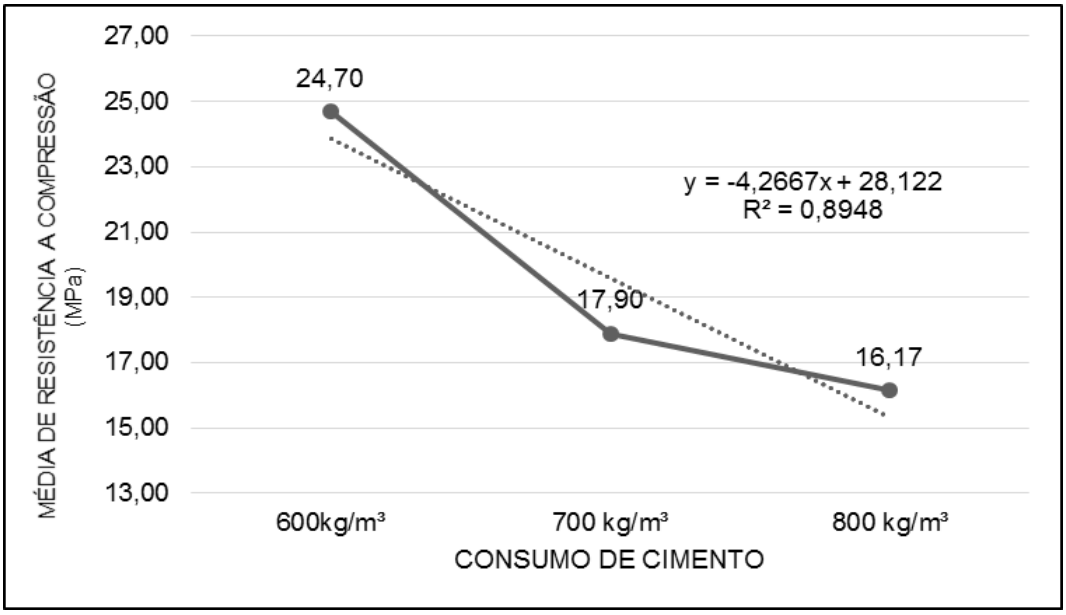


Figura 48 – Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,50%

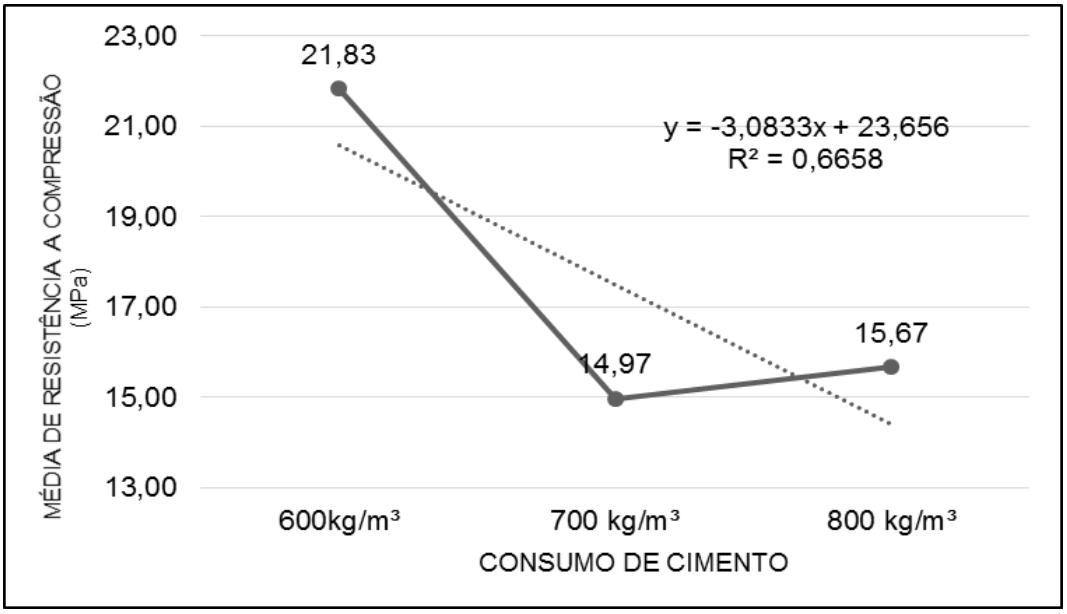


Figura 49 - Gráfico com variação de cimento para a/c 45 e SP 2,00%

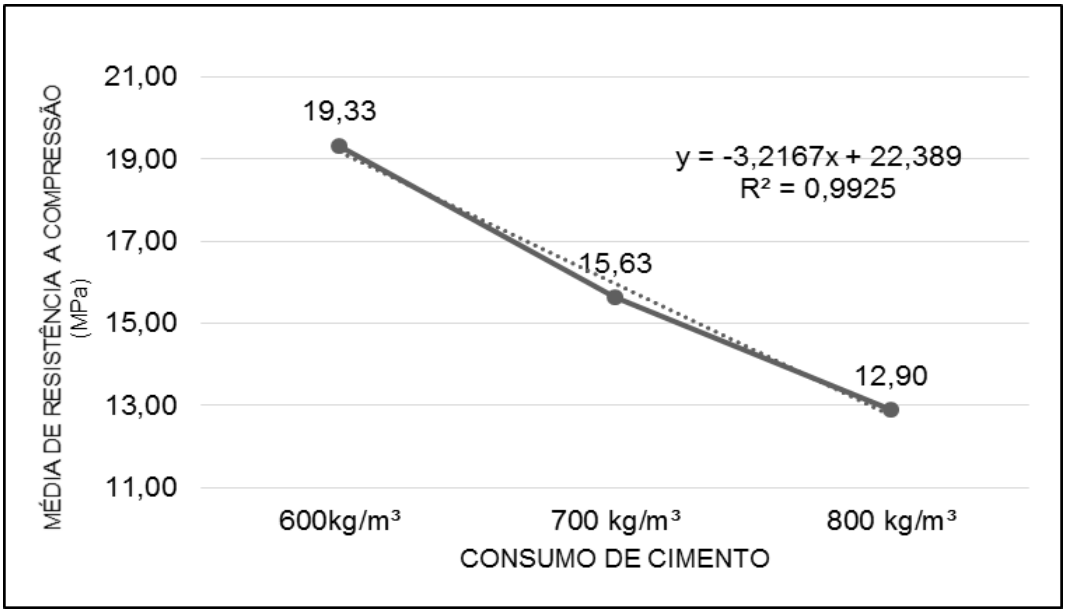


Figura 50 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,50%

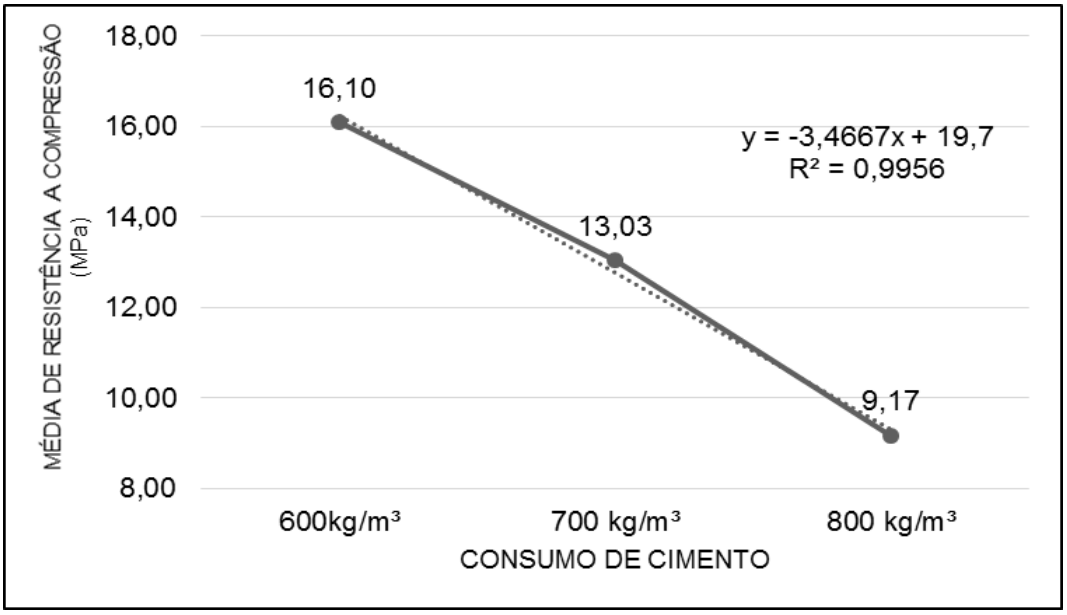


Figura 51 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,50 e SP 1,50%

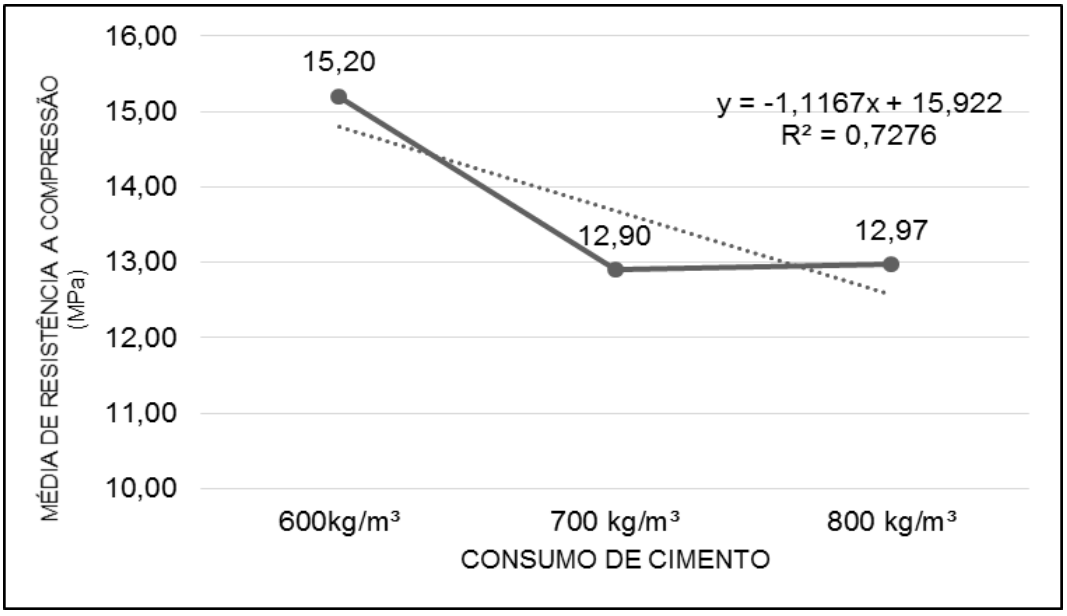


Figura 52 – Gráfico variação de cimento para a/c 0,50 e SP 2,00%

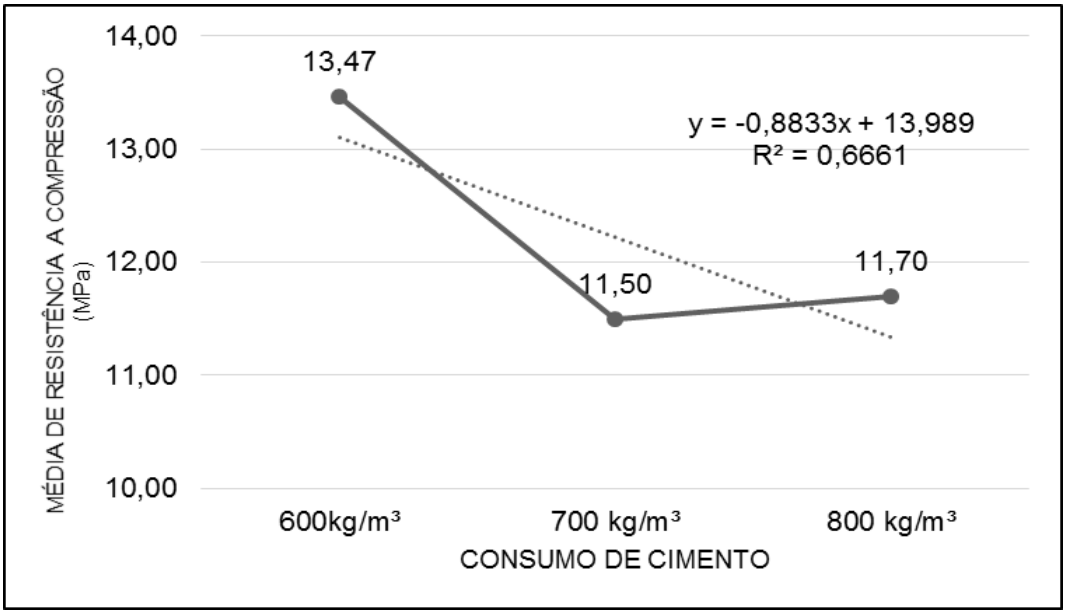


Figura 53 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 1,00%

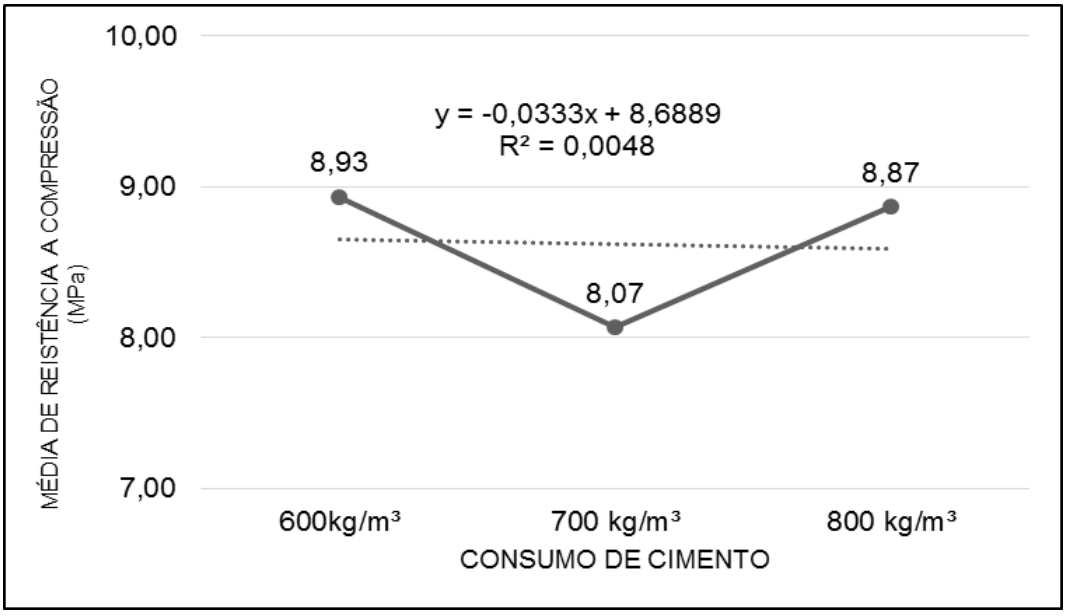


Figura 54 – Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 1,50

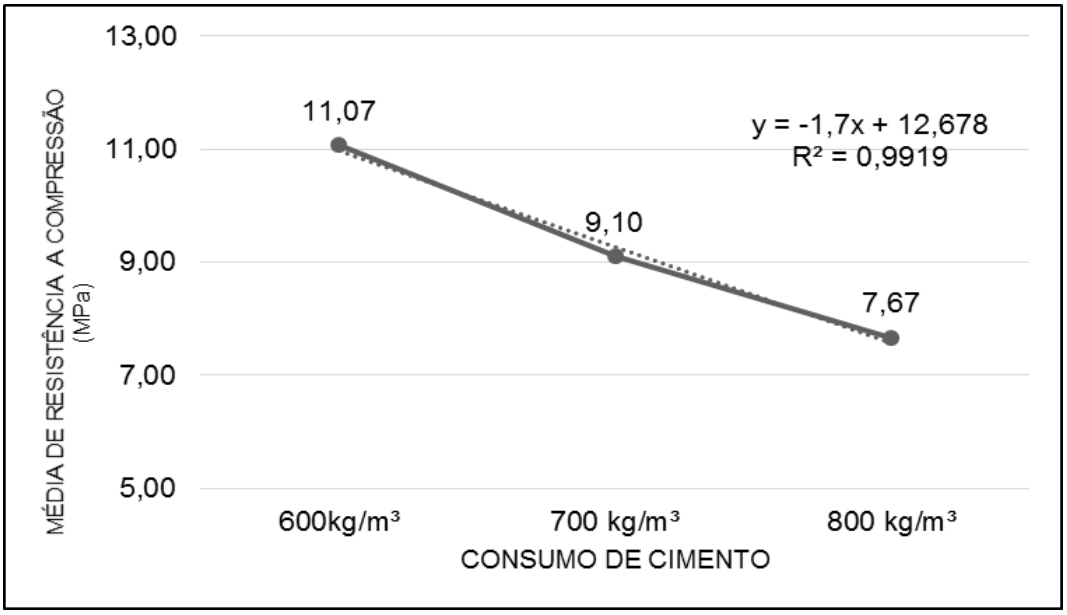
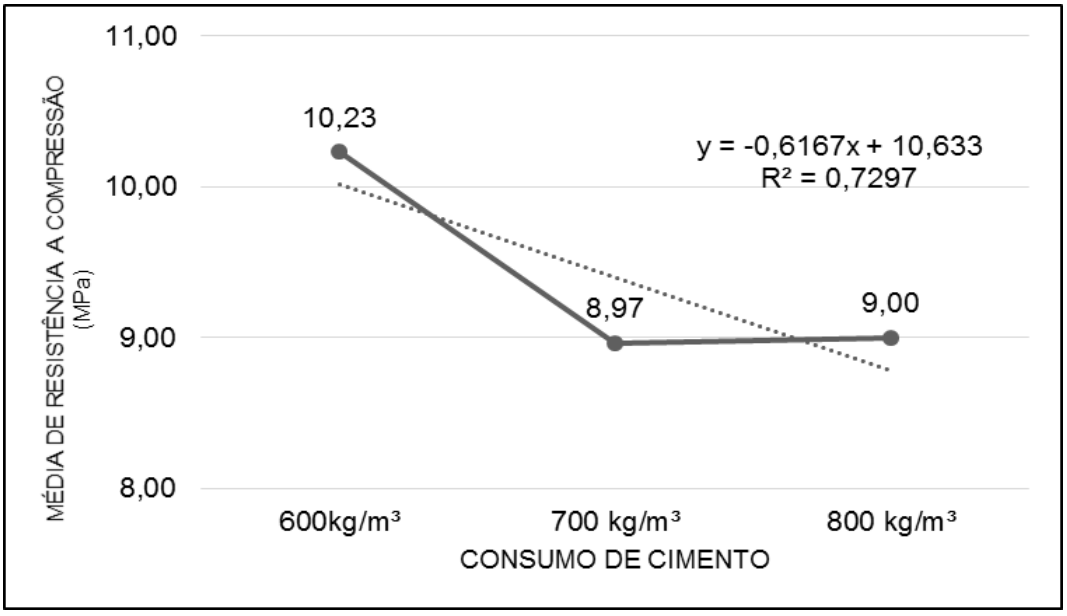


Figura 55 – Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 2,00%

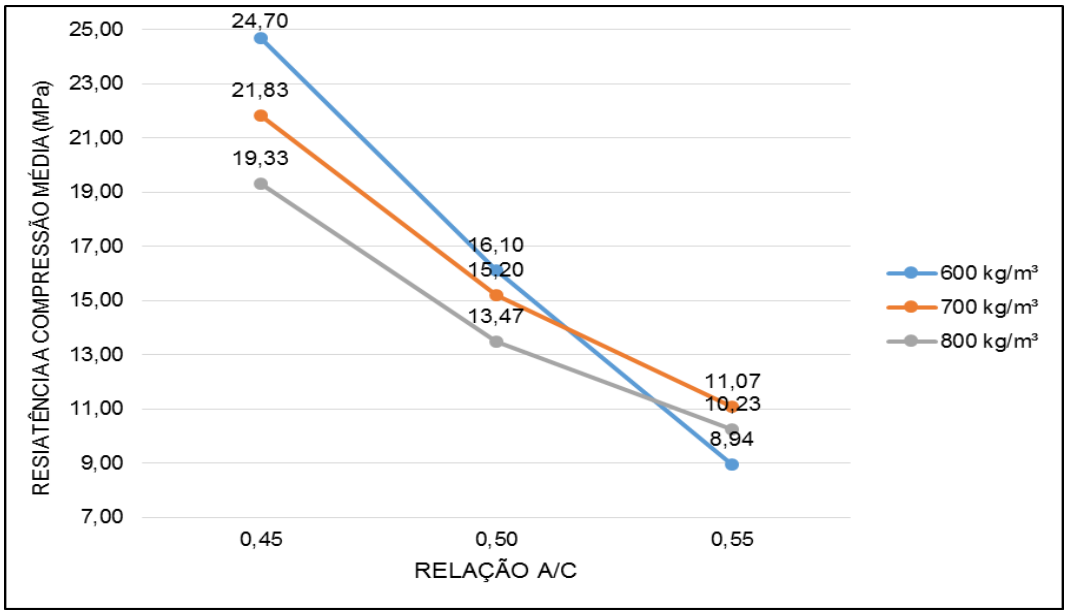


É notório por meio dos gráficos anteriores que com o aumento do teor de cimento há uma queda na resistência, para uma mesma relação a/c e um mesmo teor de aditivo SP, comportamentos este inesperado, visto que para o aumento do teor de cimento a resistência teria um aumento proporcional. Este comportamento pode ter sido influenciado durante o processo de realização do ensaio de determinação do índice de consistência, em que se perdia parte da pasta da mistura na mesa de flow table. Alguns fatores entre fase de mistura na argamassadeira e cura inicial dos corpos de prova também podem ter influenciado. Até mesmo a

grande variabilidade dos resultados pode ter proporcionado ocasionamento deste comportamento adverso.

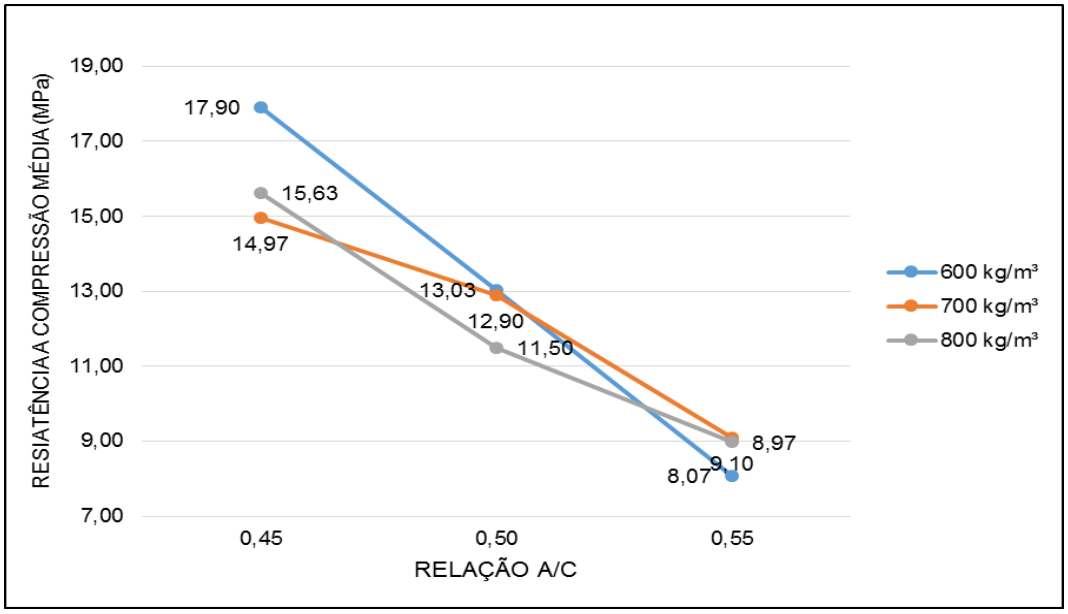
O gráfico a seguir faz um comparativo entre os três teores de cimento (600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³) e os três teores de relação a/c (0,45, 0,50, 0,55) com o teor de aditivo fixado em 1,00%, para a resistência a compressão aos três dias

Figura 56 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,00%



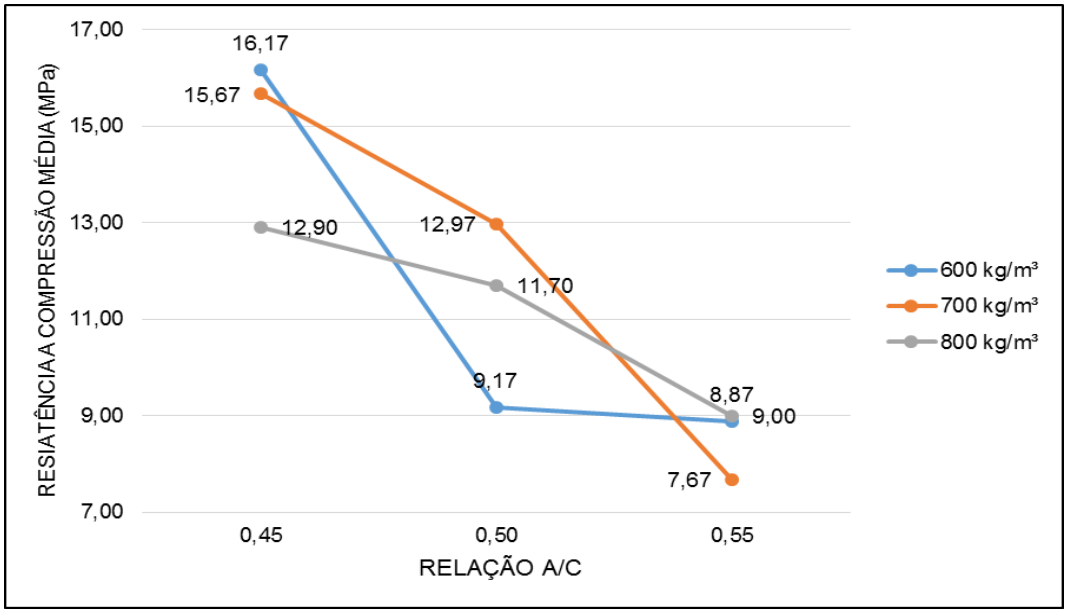
O próximo gráfico também faz um comparativo entre os três teores de cimento (600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³) e os três teores de relação a/c (0,45, 0,50, 0,55) com o teor de aditivo fixado em 1,50%, para a resistência a compressão aos três dias.

Figura 57 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,50%



Este próximo gráfico, compara os três teores de cimento (600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³) e os três teores de relação a/c (0,45, 0,50, 0,55) com o teor de aditivo fixado em 2,00%, para a resistência a compressão aos três dias.

Figura 58 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 2,00%



Por meio destes gráficos é possível ver que no estado endurecido altos teores de aditivo superplastificante juntamente combinados com uma alta relação a/c resultam em uma queda brusca da resistência. Uma consequência já prevista, já que no estado fresco essa combinação de altos teores proporcionou segregação e bordas desuniformes, indícios de uma baixa resistência. A alta dosagem de

superplastificante também compromete as resistências iniciais como mostra os gráficos comparativos.

Nota sé também que existe uma queda na resistência de acordo com o aumento do teor de aditivo, mesmo para uma relação agua cimento baixa, deixando claro que altos teores de aditivos superplastificante causam queda nas resistências iniciais.

4.2.2Resistência a compressão aos 28 dias

A tabela a seguir demonstra as resistências a compressão aos 28 dias de cada teste.

Tabela 20 - Tabela com resultados de Resistência a compressão aos 28 dias

Testes Experimentais	Idade (dias)	CP's	Resistência (Mpa)	Média	Desvio Padrão	CV	Máximo	Mínimo
Teste 1	28	1	39,30	39,63	1,04	0,026	40,80	38,80
		2	38,80					
		3	40,80					
Teste 2	28	1	31,40	30,73	2,27	0,074	32,60	28,20
		2	28,20					
		3	32,60					
Teste 3	28	1	38,60	30,43	7,09	0,233	38,60	25,80
		2	26,90					
		3	25,80					
Teste 4	28	1	30,40	28,67	1,66	0,058	30,40	27,10
		2	27,10					
		3	28,50					
Teste 5	28	1	26,40	26,53	2,30	0,087	28,90	24,30
		2	24,30					
		3	28,90					
Teste 6	28	1	20,60	21,50	2,29	0,106	24,10	19,80
		2	24,10					
		3	19,80					
Teste 7	28	1	34,30	31,73	3,77	0,119	34,30	27,40
		2	27,40					
		3	33,50					
Teste 8	28	1	29,50	31,30	2,55	0,081	33,10	29,50
		2	33,10					
		3	27.4					
Teste 9	28	1	33,90	31,90	6,44	0,202	37,10	24,70
		2	24,70					
		3	37,10					
Teste 10	28	1	28,90	29,90	1,05	0,035	31,00	28,90
		2	31,00					
		3	29,80					
Teste 11	28	1	26,90	27,63	3,16	0,115	31,10	24,90
		2	24,90					
		3	31,10					

Teste 12	28	1	20,30	24,17	4,18	0,173	28,60	20,30
		2	23,60					
		3	28,60					
Teste 13	28	1	23,80	23,90	0,17	0,007	24,10	23,80
		2	24,10					
		3	23,80					
Teste 14	28	1	23,10	19,67	3,15	0,160	23,10	16,90
		2	16,90					
		3	19,00					
Teste 15	28	1	17,90	18,80	3,34	0,178	22,50	16,00
		2	22,50					
		3	16,00					
Teste 16	28	1	12,60	19,63	6,09	0,310	23,30	12,60
		2	23,00					
		3	23,30					
Teste 17	28	1	22,50	20,43	2,76	0,135	22,50	17,30
		2	21,50					
		3	17,30					
Teste 18	28	1	21,30	16,57	4,10	0,247	21,30	14,20
		2	14,20					
		3	14,20					
Teste 19	28	1	17,90	21,37	3,72	0,174	25,30	17,90
		2	20,90					
		3	25,30					
Teste 20	28	1	22,80	20,20	2,42	0,120	22,80	18,00
		2	19,80					
		3	18,00					
Teste 21	28	1	14,80	17,63	2,47	0,140	19,30	14,80
		2	19,30					
		3	18,80					
Teste 22	28	1	13,80	15,73	3,26	0,207	19,50	13,80
		2	19,50					
		3	13,90					
Teste 23	28	1	17,10	17,70	1,59	0,090	19,50	16,50
		2	16,50					
		3	19,50					
Teste 24	28	1	17,10	14,13	2,65	0,188	17,10	12,00
		2	13,30					
		3	12,00					
Teste 25	28	1	16,10	17,60	1,31	0,074	18,50	16,10
		2	18,50					
		3	18,20					
Teste 26	28	1	17,50	18,93	1,56	0,083	20,60	17,50
		2	20,60					
		3	18,70					
Teste 27	28	1	19,90	17,57	2,11	0,120	19,90	15,80
		2	15,80					
		3	17,00					

A tabela 20 mostra os valores individuais e médios das resistências a compressão de cada CP’s e testes com idade de três dias. A seguir serão

demonstrados gráficos comparativos que avaliam o comportamento de cada teste no estado endurecido para cada teor de material na mistura.

A seguir serão demonstrados gráficos variando apenas os teores de cimento sendo que relação a/c e teor de aditivo SP permanecem fixos.

Figura 59 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,00%

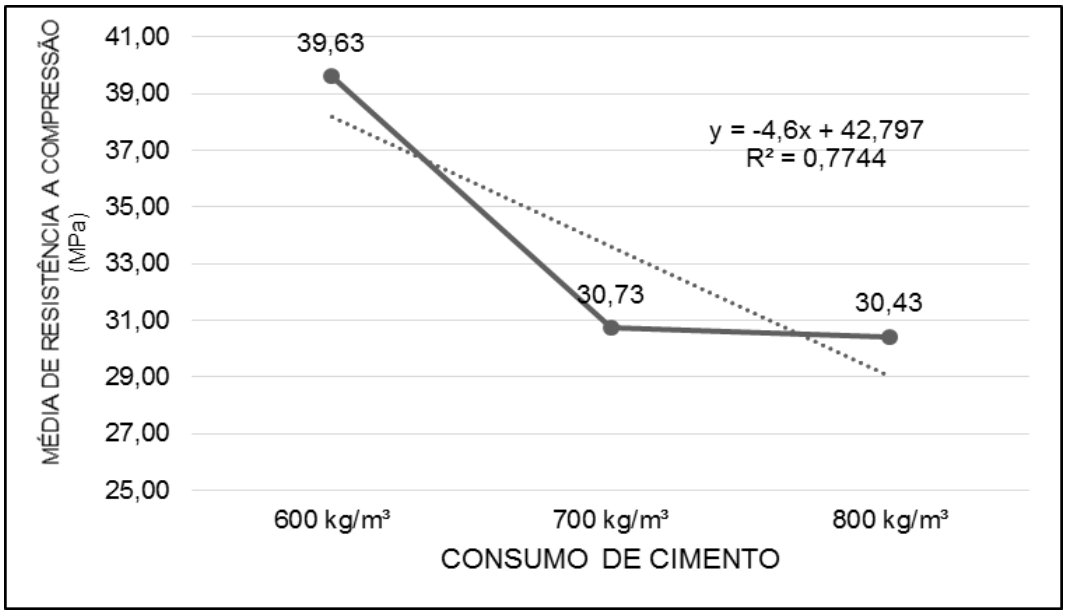


Figura 60 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,45 e SP 1,50%

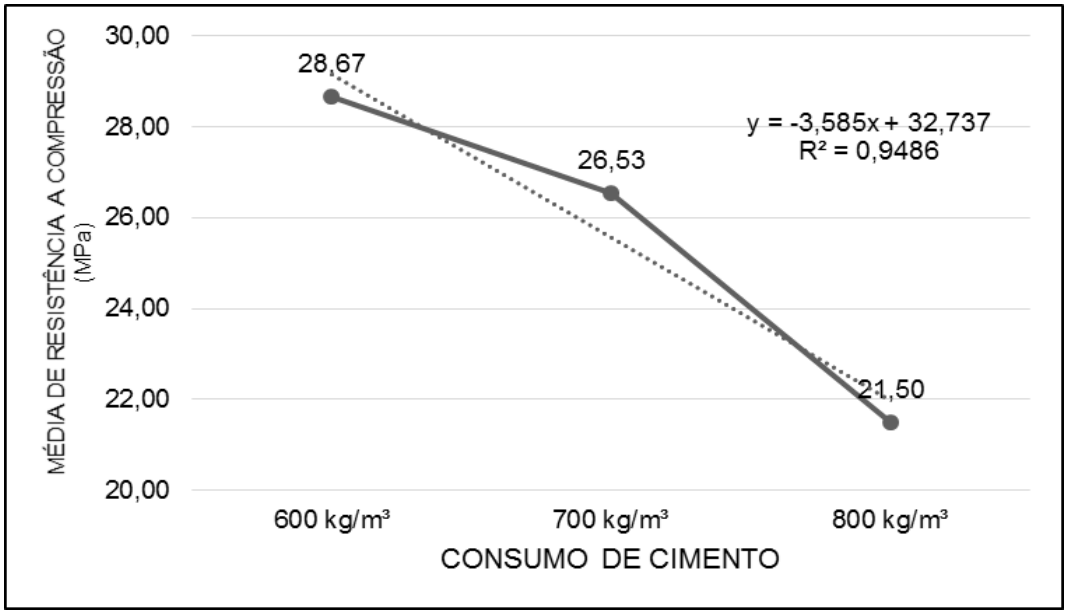


Figura 61 - Gráfico com variação de cimento para a/c 45 e SP 2,00%

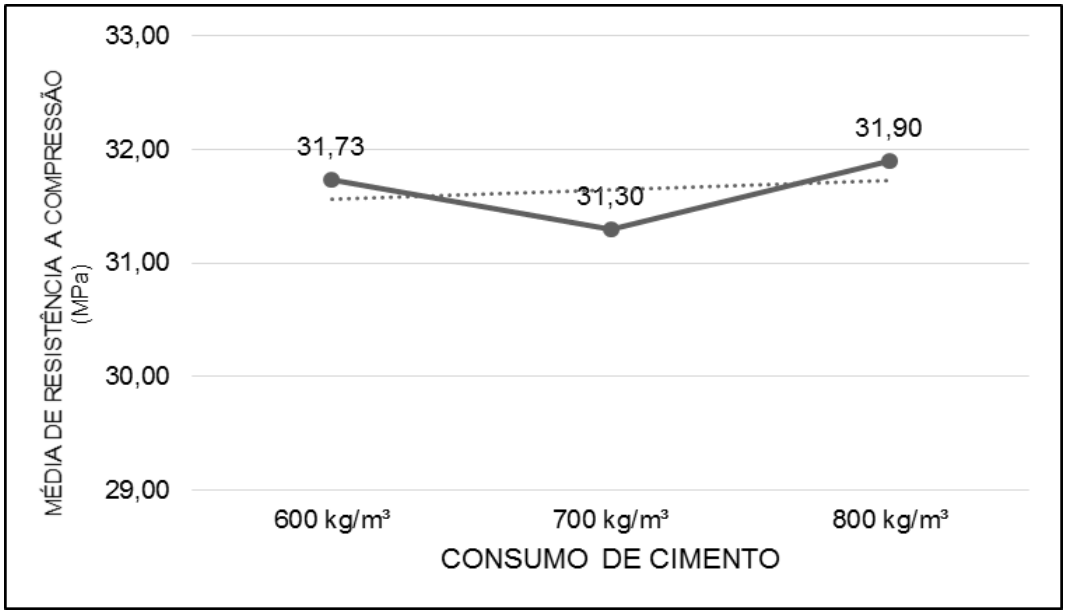


Figura 62 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,50 e SP 1,50%

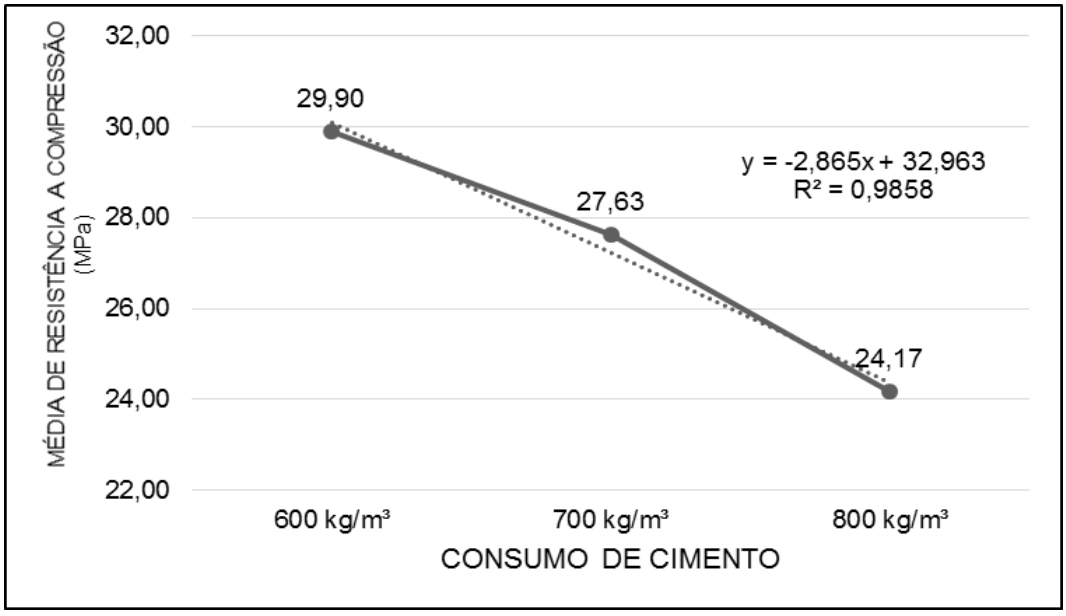


Figura 63 - Variação de cimento para a/c 0,50 e SP 1,50%

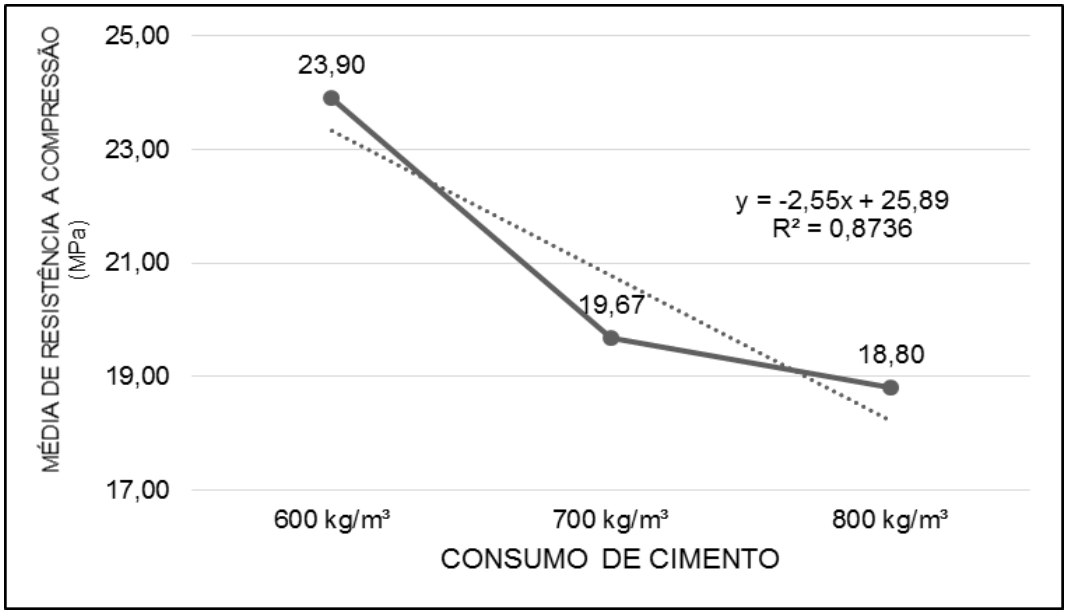


Figura 64 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,50 e SP 2,00%

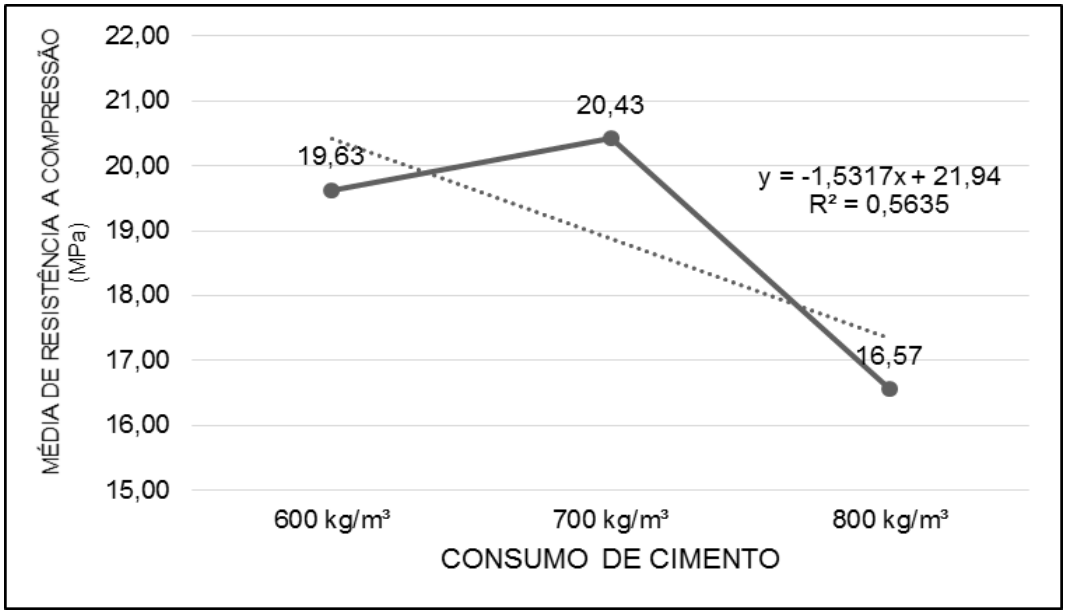


Figura 65 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 1,00%

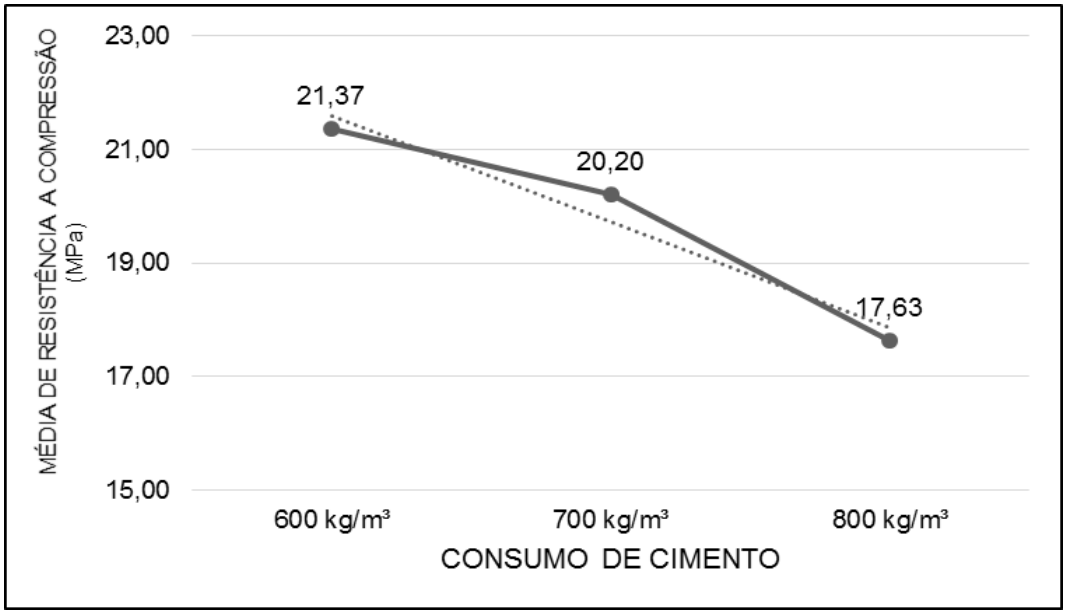


Figura 6653 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 1,50

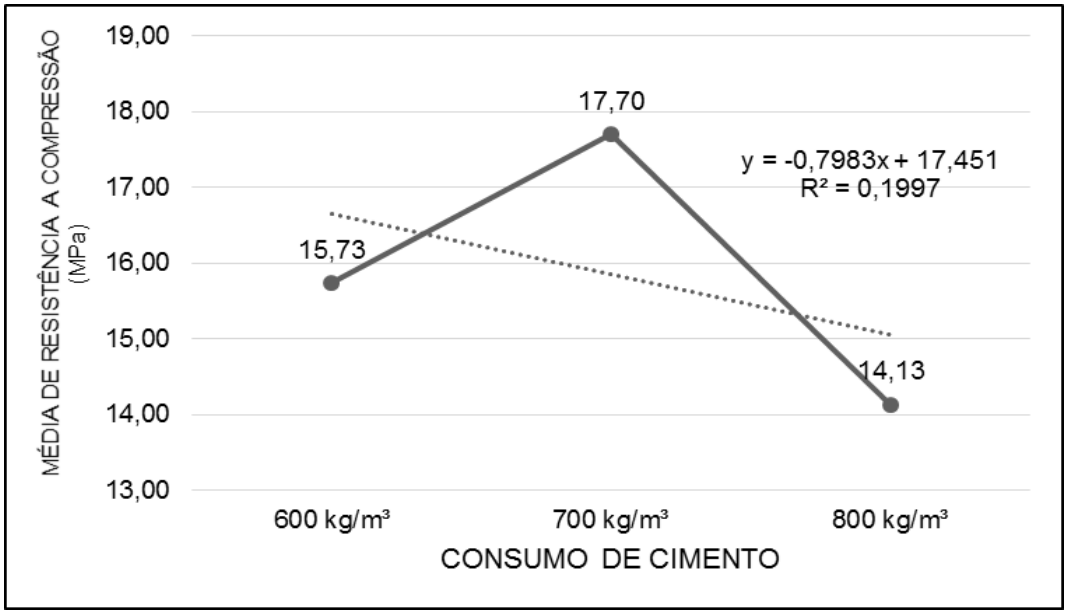
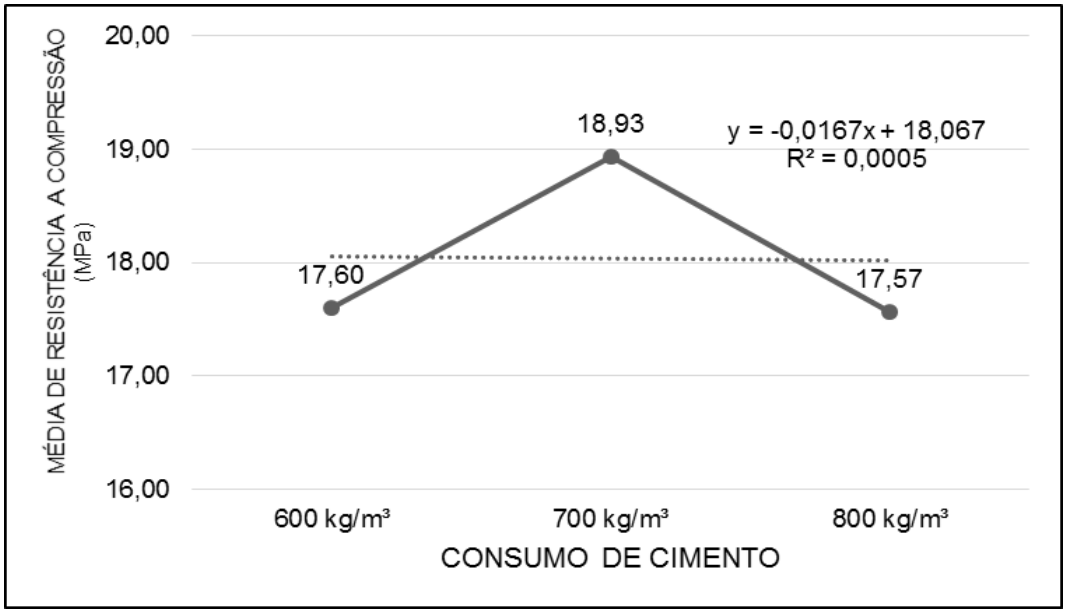


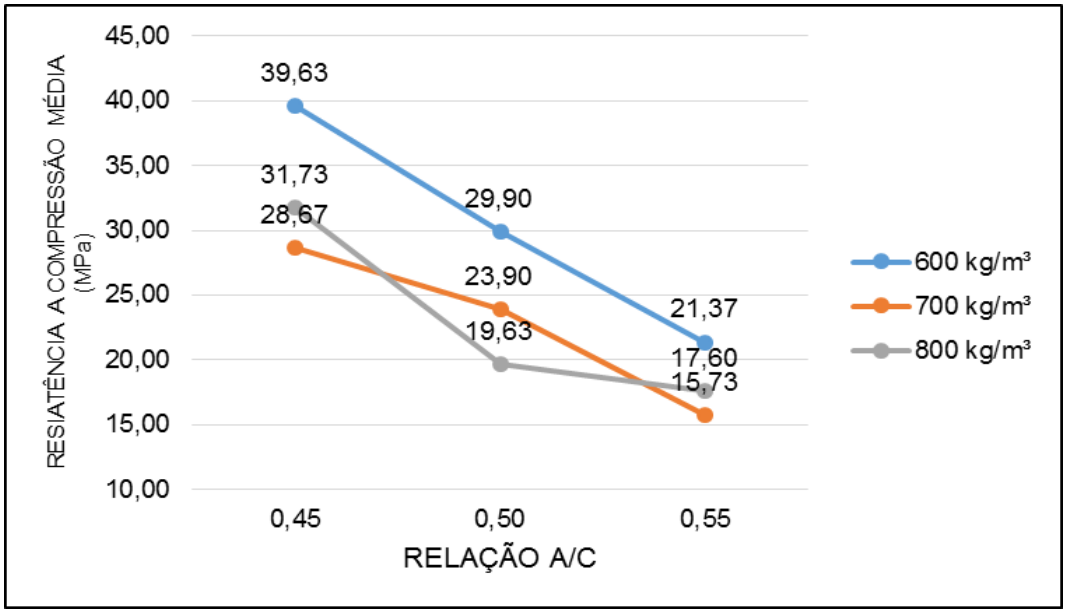
Figura 67 - Gráfico com variação de cimento para a/c 0,55 e SP 2,00%



As 28 dias também é possível notar que existe o mesmo comportamento, pois é perceptível a queda na resistência da mistura de acordo com o aumento do teor de cimento. É possível ver novamente que existe um comportamento linear na relação entre as resistências médias e o consumo de cimento. E mesmo para as idades mais avançadas é possível notas a influência da quantidade de aditivo combinado com altas relações a/c na resistência a compressão, teores mais elevados levam a uma queda na resistência.

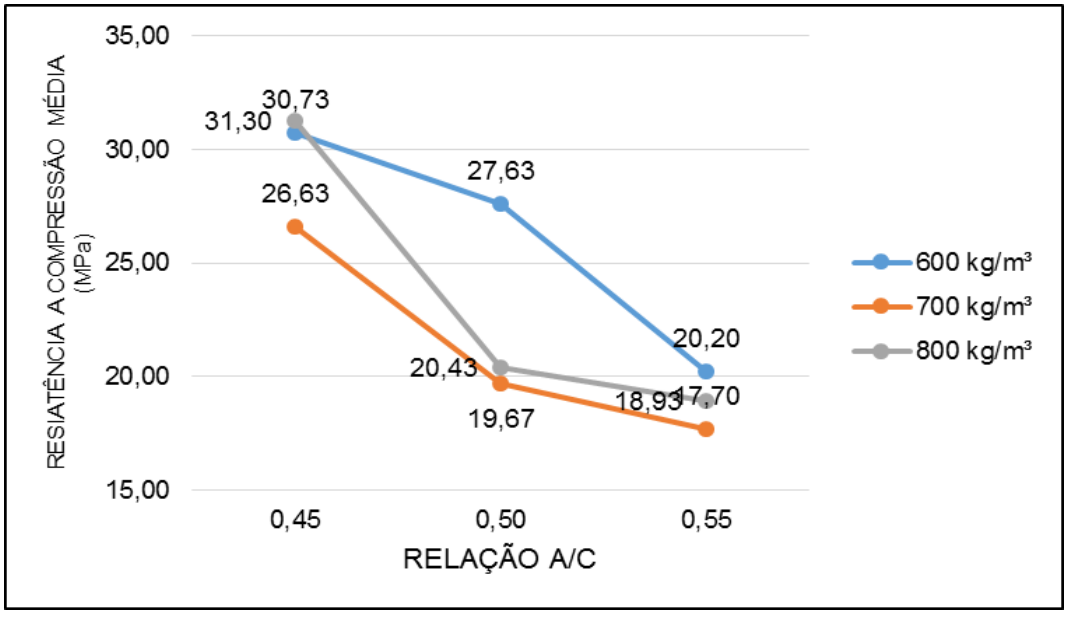
O gráfico a seguir faz um comparativo entre os três teores de cimento (600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³) e os três teores de relação a/c (0,45, 0,50, 0,55) com o teor de aditivo fixado em 1,00%, para a resistência a compressão aos vinte e oito dias.

Figura 68 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,00%



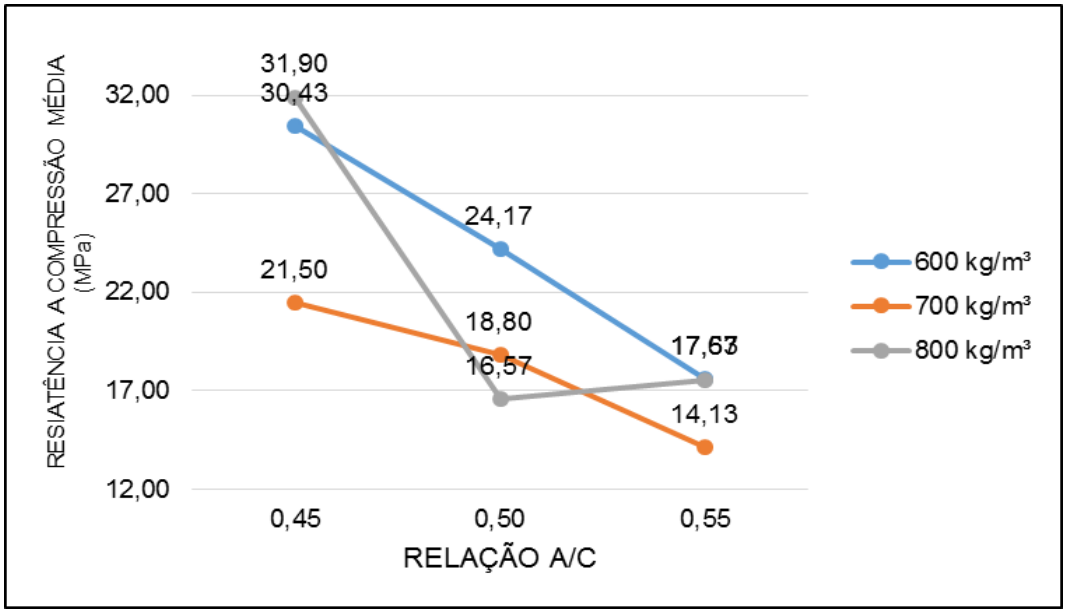
O próximo gráfico também faz um comparativo entre os três teores de cimento (600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³) e os três teores de relação a/c (0,45, 0,50, 0,55) com o teor de aditivo fixado em 1,50%, para a resistência a compressão aos vinte e oito dias.

Figura 69 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 1,50%



Este próximo gráfico, compara os três teores de cimento (600 kg/m³, 700 kg/m³ e 800 kg/m³) e os três teores de relação a/c (0,45, 0,50, 0,55) com o teor de aditivo fixado em 2,00%, para a resistência a compressão aos vinte e oito dias.

Figura 70 - Gráfico comparativo entre os três teores do consumo de cimento para um consumo de SP de 2,00%



Com a idade de 28 dias é possível notar que mesmo com teores mais elevados de aditivo a resistência não se difere muito para os mesmos teores de cimento e relação a/c, isto significa dizer que teores maiores de superplastificante afetam apenas as primeiras idades da mistura. Comportamento também já esperado, já que com grandes quantidades de superplastificante passa a existir uma tendência de retardamento da pega logo as primeiras idades são afetadas. É possível observar também a queda da resistência devido ao aumento da relação a/c como o esperado.

Estes gráficos da influência do cimento aos 28 dias tendem a mostrar o mesmo comportamento com idades menores como a de 3 dias, apenas com resistências mais elevadas.

5 CONCLUSÕES

Os objetivos do presente trabalho eram avaliar as propriedades da argamassa autonivelante no estado fresco e endurecido por meio de testes experimentais. E algumas conclusões que se pode chegar por meio destes resultados são as seguintes:

Em relação ao ensaio de determinação do índice de consistência no estado fresco a metodologia adotada na avaliação das propriedades não possibilitou a caracterização satisfatória das argamassas, do ponto de vista dos fenômenos da segregação e exsudação. No entanto foi possível observar que a combinação do aumento de teores de superplastificante e da relação a/c elevam a fluidez da mistura, elevando também a o nível de segregação. Para os testes com o teor mais elevado de cimento, que é de 800 kg/m³, a fluidez se tornou tão alta que fez com que a mistura ultrapassasse a mesa de flow table, impossibilitando a medição dos diâmetros ortogonais. A obtenção de bordas uniformes se torna mais fácil com relações a/c menores como de 0,45. Os teores muito elevados de aditivo superplastificante tendem a retardar a pega, comprometendo as idades iniciais. Superplastificante com teores mais elevados também resultam em argamassas liquidas com presença de segregação, comprometendo a eficiência do aditivo na mistura.

Quanto ao ensaio de resistência à compressão é possível notar uma queda na resistência com o aumento do teor de cimento, comportamento este inesperado, que pode ter sido influenciado na fase de realização do ensaio de determinação do índice de consistência, cujo processo foi descrito anteriormente ou por outros fatores entre a fase de mistura e cura dos corpos-de-prova. Este comportamento comprometeu uma avaliação precisa da resistência a compressão da mistura. No entanto, mesmo observando a existência deste comportamento adverso é possível verificar que com elevados teores de aditivo e relação a/c existe uma queda na resistência. As resistências iniciais são comprometidas visto que na idade inicial de 3 dias a resistência a compressão dos testes com diferentes teores de aditivos para um mesmo teor de cimento e relação a/c são bem diferentes, onde a mesma diferença não é vista na idade de 28 dias, em que as resistências para os mesmos testes se tornam relativamente próximas umas das outras. Os gráficos mostram que a resistência e proporcional a quantidade de cimento pelo comportamento linear, apesar do comportamento adverso pode-se verificar este detalhe. Relações a/c

maiores causam queda da resistência para a mesma quantidade de cimento e superplastificante. Em relação a pisos convencionais as resistências da argamassa autonivelante são bem superiores.

Após a análise de todos estes resultados e características é possível falar que a mistura que resulte em uma argamassa autonivelante, requer relação a/c baixa, teores menores de aditivo superplastificante para que não seja comprometida a sua função na mistura e um elevado teor de cimento.

Para uma caracterização mais precisa deste material é necessário um estudo mais detalhado da influência de todos os materiais e teores indicados, além de uma estrutura para realização de ensaios e testes mais completa, visto que houve algumas limitações cruciais nesta pesquisa que impediram alguns resultados da mesma.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são explicitados alguns pontos que podem ser estudados futuramente para se obter um estudo mais preciso de argamassa autonivelante:

- Readequar o consumo de cimento para valores menores;
- Substituir o cimento por alguma adição mineral, para diminuir o custo e manter ou aumentar a quantidade de finos;
- Variar as quantidades de aditivo modificador de viscosidade;
- Refazer ensaios otimizando o local (faixa de verificação) dos níveis das variáveis;
- Substituir o prato do flow table por placa metálica do ensaio de abatimento (Cone de Abrams) – verificar o nível;
- Repetir os ensaios seguindo a norma armericana ASTM C1708/C1708M -12
- Refazer os testes deste trabalho com maior precisão para rever o comportamento adverso na queda da resistência com o aumento no teor de cimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002

_____**. NBR 7211**. Limites granulométricos de agregado miúdo. 1983.

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

_____**. NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____**. NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____**. NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____**. NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995

_____**. NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____**. NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____**. NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____**. NBR 15283**: Determinação do espalhamento e tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

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

_____**. NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____**. NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____**. NBR 10520**: Informação e Documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

_____**. NBR 6023**: Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____**. NBR 14724**: Informação e Documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

_____**. NBR 6027**: Informação e Documentação – Sumário – Apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

_____**. NBR 13251**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____**. NBR 7211**. Agregado para concreto – Especificação. 2009.

BARROS, M. M. S. B; SABBATINI, F. H. **Tecnologia de produção de contrapiso para edifícios habitacionais e comerciais**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.

BAUER, E.; SOUZA, J.G.G. **Materiais constituintes e suas funções. *In*: Elton Bauer (org.), Revestimentos de Argamassa: Característica e peculiaridades**. Brasília: LEM – UnB; Sinduscon, o. 23-29, 2005.

CICHINELLI, G. **Execução de contrapiso autonivelante industrial**, Revista Téchne. Edição 192. Março, 2012

EGLE, T. **Contrapiso autonivelante**. Revista Téchne. Edição 164. Novembro, 2010.

FIGUEROLA, V. **Contrapisos autonivelantes permitem executar revestimentos em menos tempo e com menos trabalhadores,** Revista Téchne. Edição 2014, Janeiro, 2015.

FIORITO, A. J. S. I**. Manual de argamassas e revestimentos: estudos procedimentos e execução**. São Paulo, PINI, 2009.

FREITAS, E. R. F. *ET AL.* **Estudo das adições e aditivos minerais nas propriedades de argamassa auto-nivelantes.** Anais do V Congresso de pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (CONNEPI). Natal, 2010.

JUBANSKI, E. J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

METHA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Ed. Ibracon, 2008.

NAKAKURA, E. H.; BUCHER, H. R. E. **Pisos Auto-nivelantes. Propriedades e Instalações. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Salvador, 1997.

RUBIN, A. P. **Argamassas autonivelantes industrializadas para contrapiso: análise do desempenho físico-mecânico frente ás argamassas dosadas em obra**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015

ROSSIGNOLO, J. A. **Análise da compatibilidade dos componentes do concreto leve de alto desempenho modificado com polímero**. Iv Encontro Tecnológico Da Engenharia Civil E Arquitetura, ENTECA, 2003.

SOUZA, A. S.; FERREIRA, A. Z.; AZAVEDO, B. L. de O. **Estudo para o desenvolvimento de argamassa autonivelante para contrapiso**. Trabalho de conclusão de curso. Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLON, D. C. **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo, PINI, 2004.