



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS COSTA SILVA

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO NAS
PROPRIEDADES DA ARGAMASSA**

ANGICOS-RN

2018

MATHEUS COSTA SILVA

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO NAS
PROPRIEDADES DA ARGAMASSA**

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

Orientador: Prof. Dr(a): Andreza Kelly
Costa Nobrega

ANGICOS-RN

2018

MATHEUS COSTA SILVA

**INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO NAS
PROPRIEDADES DA ARGAMASSA**

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

APROVADA EM: 13/09/18

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dra. Andreza Kelly Costa Nóbrega – UFERSA
Presidente



Prof.º Dr. Kleber Cavalcanti Cabral – UFERSA
Primeiro Membro



Eng.ª Ilana Maria da Silva Barros – UFERSA
Segundo Membro

Si Silva, Matheus Costa Silva .
 Influência da distribuição granulométrica do
agregado nas propriedades da argamassa / Matheus
Costa Silva Silva. - 2018.
 54 f. : il.

 Orientador: Andreza Kelly Costa Nóbrega Nóbrega.
 Coorientador: Kleber Cavalcanti cabral Cabaral.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Administração,
2018.

 1. Agregado . 2. Curva granulométrica . 3.
Areia. I. Nóbrega, Andreza Kelly Costa Nóbrega,
orient. II. Cabaral, Kleber Cavalcanti cabral, co-
orient. III. Título.

*Dedico este trabalho a minha mãe
Margareth Costa da Silva e ao meu pai
José Willame da Silva por sempre terem
batalhado para que eu conseguisse chegar
até aqui e para que eu possa sempre dar
prosseguimento nos meus estudos para
alcançar todos os meus sonhos e
objetivos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e proporcionar a vida e sempre estar me livrando de todo o mal, guiando-me para os caminhos certos e me iluminando, proporcionando várias conquistas e momentos de alegria.

Aos meus pais, Margareth Costa da Silva e José Willame da Silva que são meu maior exemplo de vida. Sempre irei agradecer por todas as coisas que fizeram por mim. Pelos ensinamentos, companheirismo e por sempre estarem ao meu lado me dando força para que eu consiga alcançar todos os objetivos da minha vida, o meu muito obrigado.

A minha Irmã, Mayara Jully Costa da Silva, por sempre está ao meu lado, pelo seu companheirismo e amizade, o meu muito obrigado.

Ao meu filho, Matheus Costa Silva Filho, o qual contribuiu na minha força de vontade de concluir meu curso.

A todos os meus amigos de infância que tenho na cidade de Caicó – RN. Aos meus amigos que fiz aqui em Angicos – RN, onde esses representam a minha segunda família. Agradeço meus amigos a vocês por todo o companheirismo e a amizade verdadeira que temos até hoje, obrigado parceiros.

Ao meu tio, David Costa da Silva (in memorian), que por muito tempo fez papel de pai para mim e me ensinou os valores importantes para toda vida, obrigada.

A Sandro, técnico do laboratório da UFRN, meu muitíssimo obrigado, sem você esse trabalho não estaria pronto hoje. Agradeço pela ajuda.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Andreza Kelly Costa Nóbrega pela orientação, atenção e disponibilidade demonstrada nesse projeto.

RESUMO

A argamassa é um item fundamental para a construção civil, pois ela, basicamente, proporciona impermeabilidade e estabilidade para a edificação e possui diversas propriedades, pode ser produzida com diversos tipos de agregado. Tendo em vista a importância da argamassa, o presente trabalho objetivou, analisar tecnicamente as argamassas, avaliando a distribuição granulométrica de três tipos de agregado nas propriedades da argamassa. Para isso foi realizado um estudo dos três tipos de areia, foram analisadas granulometricamente através de ensaios, identificando diferenças nas suas curvas granulométricas e relacionando-as com a literatura e as normas. Em seguida, foram realizados os ensaios com as argamassas, produzidas com os três tipos de areia, no estado fresco e endurecido, sendo estes o ensaio de consistência, resistência à compressão e tração na flexão e densidade de massa aparente no estado endurecido. Notou-se mudanças no comportamento das propriedades da argamassa de acordo com cada tipo de areia. Dentre essas mudanças, nas propriedades no estado fresco da argamassa, pode-se destacar que a argamassa com areia fina apresentou um fator água/cimento maior do que as argamassas produzidas com as demais areias. No estado endurecido, através dos ensaios de resistência mecânica, verificou-se que a argamassa produzida com areia grossa obteve melhor resultado. No ensaio de densidade de massa aparente também a formulação com areia grossa obteve resultado maior que as demais. Assim a frente dos resultados, obtidos, pode-se afirmar que a distribuição granulométrica dos agregados influencia nas propriedades da argamassa.

Palavras – chaves: Agregado, curva granulométrica, areia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Agitador mecânico e peneiras utilizadas no ensaio granulométrico	29
Figura 2 - Ensaio de consistência na mesa de abatimento.....	29
Figura 3 - Ensaios de Resistência a tração na flexão e compressão.....	30
Figura 4 - Curva granulométrica da Areia Fina entre os limites utilizáveis.....	35
Figura 5 - Curva granulométrica da Areia Fina entre os limites ótimos.....	36
Figura 6 - Curva granulométrica da Areia Média entre os limites utilizáveis.....	36
Figura 7 - Curva granulométrica da Areia Média entre os limites ótimos.....	37
Figura 8 - Curva granulométrica da Areia Grossa entre os limites utilizáveis.....	38
Figura 9 - Curva granulométrica da Areia Grossa entre os limites ótimos.....	38
Figura 10 - Curva granulométrica dos três tipos de Areia entre os limites utilizáveis...	39
Figura 11 - Curvas granulométricas dos três tipos de Areia entre os limites ótimos...	40
Figura 12 - Fator a/c para o traço com areia fina.....	41
Figura 13 - Fator a/c para o traço com areia média.....	42
Figura 14 - Fator a/c para o traço com areia grossa.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.....	20
Tabela 2 - Peneiras das séries normal e intermediária (NBR 7211, 2005)	25
Tabela 3 - Peneiras utilizadas na caracterização granulométrica.....	28
Tabela 4 - Dados da granulometria da Areia Fina.....	33
Tabela 5 - Dados da granulometria da Areia Média.....	33
Tabela 6 - Dados da granulometria da Areia Grossa.....	33
Tabela 7 - Grandezas utilizadas na composição granulométrica.....	34
Tabela 8 - Limites dos agregados miúdos em relação ao seu módulo de finura.....	34
Tabela 9 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211, 2005)	34
Tabela 10 - Fator água/cimento.....	43
Tabela 11 - Resultado do ensaio de resistência a compressão da argamassa aos 28 dias.....	43
Tabela 12 – Resultado de resistência a tração na flexão aos 28 dias.....	44
Tabela 13 – Densidade de massa aparente no estado endurecido.....	45
Tabela 14 – Densidade de massa aparente no estado endurecido.....	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Norma Brasileira

MPa Mega Pascal

Kg quilo grama

m³ metro cúbico

g grama

UFRN Universidade Federal do Rio Grande do Norte

a/c água/cimento

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. ARGAMASSA.....	13
3.1.1. Materiais Constituintes da Argamassa.....	14
3.1.1.1. Cimento.....	14
3.1.1.2. Cal.....	15
3.1.1.3. Agregado Miúdo (Areia)	16
3.1.2. Propriedades da Argamassa	17
3.1.2.1. Trabalhabilidade.....	18
3.1.2.2. Consistência e Plasticidade	18
3.1.2.3. Retenção de água.....	19
3.1.2.4. Resistência Mecânica	19
3.1.2.5. Durabilidade	20
3.1.2.6. Retração.....	21
3.1.2.7. Capacidade de absorver pequenas deformações.....	21
3.1.2.8. Aderência.....	21
3.1.3. Fabricação da Argamassa	22
3.1.3.1. Amassadura Mecânica.....	22
3.1.3.2. Amassadura Manual	23
3.2. AGREGADO (GRANULOMETRIA).....	24
3.2.1. Curvas Granulométricas	25
3.2.2. Forma e Textura.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	27
4.2. CIMENTO.....	27
4.3. AREIA	27
4.4. FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	27
4.5. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	28
4.5.1. Ensaio de Granulometria	28
4.5.2. Ensaio de consistência da argamassa	29

4.5.3.	Ensaio de Resistência à compressão e à tração na flexão.....	30
4.5.4.	Ensaio da densidade de massa aparente no estado endurecido	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1.	ENSAIO DE GRANULOMETRIA	32
5.1.1.	Análise da Granulometria das Areias	32
5.2.	ENSAIO DE CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA	40
5.3.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	43
5.3.1.	Resistência à Compressão aos 28 dias	43
5.3.2.	Resistência à tração na flexão aos 28 dias	44
5.4.	ENSAIO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO	45
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Segundo Pinto, Gomes e Pinto (2006), a utilização de argamassas remonta às primitivas civilizações humanas que as utilizaram sob a forma de barro misturado com água na construção dos seus abrigos. Posteriormente, a descoberta do fogo terá permitido descobrir os efeitos do calor nas propriedades das argilas e dos calcários, comprovando, designadamente, as suas características aglutinantes, em contato com a água.

A construção civil é uma junção de atividades produtivas de construção, onde são aplicadas a instalação, reparação, equipamentos e edificações de acordo com cada classe de obra que será realizada (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Pinto, Gomes e Pinto (2006) hoje em dia, são fabricados diversos tipos de argamassa, que se denotam sob diferentes formas, apresentando propriedades químicas e mecânicas especialmente adaptadas à grande variedade de construções e obras de engenharia civil.

Segundo Cruz (2008), os agregados para a indústria da construção civil são as matérias-primas minerais mais utilizadas no mundo, devido ao estudo e conhecimento das suas características e consequente influência sobre as propriedades das argamassas assumem uma importância. A aplicação de areias com diferentes constituições granulométricas compõe uma forma de introduzir consideráveis alterações nas características das argamassas.

Segundo Hawlitschek (2014), o agregado para construção civil (areia) é o bem de baixo valor unitário, uma vez que seu beneficiamento é simples, porém estão entre os produtos mais comercializados da indústria mineral. No Brasil a produção de areia foi bastante expressiva, sendo 90% da produção destinada a construção civil.

Sendo assim, esse trabalho visa analisar a influência da distribuição granulométrica do agregado nas propriedades da argamassa, no qual será analisado as propriedades da argamassas, materiais, a granulometria das areias e sua importância para as argamassas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar tecnicamente as argamassas, avaliando a distribuição granulométrica de três tipos de agregado, nas propriedades da argamassa.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a distribuição granulométrica do agregado e representá-la através de uma curva. Possibilitando assim a determinação de suas características físicas;
- Proceder a realização do ensaio de granulometria através do peneiramento com a finalidade de obter a curva granulométrica de três tipos de areia;
- Analisar a consistência da argamassa através do ensaio de consistência;
- Caracterizar o material quanto a resistência a tração na flexão e a compressão;
- Analisar a densidade de massa aparente no estado endurecido.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. ARGAMASSA

A NBR 13281 (2005), define argamassa como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Segundo Pinto, Gomes e Pinto (2006), argamassa é uma mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, adições e/ou adjuvantes. O agregado, por exemplo é constituído de um material granular que não intervém na reação de endurecimento da argamassa. As adições são de material inorgânico finamente moído, que pode ser adicionado à argamassa com o objetivo de melhorar as suas propriedades específicas. Já o adjuvante, o qual tem como objetivo modificar propriedades da argamassa fresca ou endurecida, é constituído de material orgânico ou inorgânico.

Segundo Fiorito (2009), as argamassas são definidas como sendo uma mistura de aglomerantes e agregados com água, as quais possuem capacidade de endurecimento e aderência, sendo utilizadas em obras e comumente compostas de areia natural lavada, e aglomerantes, que são em geral de cimento Portland e cal hidratada. Sua denominação é função do aglomerante utilizado, com isso, temos argamassa de cal, de cimento ou mista de cal e cimento.

Para Santiago (2007), nas construções feitas com pedras, tijolos e blocos cerâmicos, a argamassa tem um papel muito importante, pois tem a função de unir todos esses materiais entre si. Outra função que a argamassa possui, e é importante destacar é o revestimento, onde proporciona uma maior proteção aos elementos construtivos. Portanto a durabilidade das edificações está diretamente ligada com a qualidade da argamassa.

Segundo Arnold (2011), as diferenças nas propriedades dos agregados são determinantes nas propriedades das argamassas. A areia não participa das reações químicas de endurecimento da argamassa interferindo, porém, pela distribuição granulométrica, forma e textura superficial dos grãos, nas propriedades da argamassa fresca e endurecida.

De acordo com Fiorito (2009), as argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces pela a resistência exigível e especialmente pela condição favorável de endurecimento. São também bastantes utilizadas para chapisco pela sua resistência a curto prazo, nos revestimentos onde as condições de impermeabilidade são exigidas, tais como em pisos cimentados, onde se exige também resistência mecânica e ao desgaste. Já as argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco, pela sua plasticidade, elasticidade e porque proporcionam acabamento plano e regular.

Segundo Santiago (2007), uma argamassa é considerada de boa qualidade quando atende as seguintes condições:

- Compacidade – Quanto mais compacta, mais densa, resultara em uma argamassa mais resistente;
- Impermeabilidade – Característica de extrema importância, pois uma argamassa impermeável inibi a permeabilidade da água, um dos agentes mais nocivos de degradação, em edifícios;
- Aderência – Gera uma argamassa que possibilita uma boa união entre as unidades por ela coladas. Não havendo uma boa aderência em caso de revestimento, pode gerar o deslocamento do mesmo;
- Constância de Volume - Acontecem problemas nesse sentido quando o calcário não é submetido ao processo de queima total e quando o oxido não sofre extinção por completo.

3.1.1. Materiais Constituintes da Argamassa

Segundo Silva (2006), agregados miúdos e aglomerantes formam essencialmente a argamassa, que usualmente são constituídos de cimento Portland, cal (que pode ser substituída por aditivos) e/ou gesso.

3.1.1.1. Cimento

De acordo com Battagin (2018), a grande iniciativa no desenvolvimento do cimento foi dada em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu formular um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat conseguiu resultados semelhantes aos de Smeaton, pela fusão

de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o criador do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou simultaneamente pedras calcárias e argila, convertendo-as num pó fino. Compreendeu que geraria uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que ganhou esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez parecidas com as rochas da ilha britânica de Portland.

Segundo a NBR 5732 (ABNT, 1991), o cimento Portland comum é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar materiais pozolânicos, escórias granulares de alto forno e/ou materiais carbonáticos.

De acordo com Maury e Blumenschein (2012), o cimento tem grande relevância para a sociedade, por reproduzir na civilização atual e em suas cidades uma espécie de “face” comum. As obras e construções, em particular nos grandes centros, fazem vasto uso do cimento como elemento de ligação, concretagem de elementos estruturais, entre muitos outros usos. A utilidade do cimento pode ser considerada como uma espécie de “marca” da civilização atual, pois desde o início do século XX tem sido a solução econômica e em grande escala tanto para o problema de moradia e assentamentos humanos, como para a construção de grandes obras da engenharia moderna. A sua matéria-prima, particularmente o calcário, é abundante e relativamente barata. Isso faz com que grandes e pequenas obras realizadas em todo o mundo moderno utilizem o cimento.

3.1.1.2. Cal

Segundo Guimarães (2002), o homem teve preliminarmente contato com a cal no período paleolítico. Contudo, a cal só veio receber mais destaque nas construções das pirâmides, feito extraordinário dos povos da Ásia menor e essencialmente do império Egípcio. A partir do Egito a arte de manipular a cal foi se transmitindo até os dias atuais.

Na construção civil, a cal é bastante aplicada na formulação de argamassas. As argamassas que tem em sua combinação, além do cimento, a utilização da cal, exibirão notáveis modificações, principalmente na trabalhabilidade no estado fresco, o que contribui com a aplicação e ganho de produtividade (RECENA, 2007).

A cal é um produto de origem mineral, elaborada por diversos elementos químicos e físicos, gerados ao longo de sua história geológica, que se estabeleceram entre 4 milhões e 4,5 milhões de anos atrás, até os dias de hoje. Ela é identificada na forma de grãos grandes e porosos, normalmente na cor branca (GUIMARÃES, 2002).

A NBR 7175 (ABNT, 2003), titula cal hidratada como sendo o pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído substancialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio.

Na argamassa, a cal age como um ligante onde a principal função é conectar-se com os blocos eficientemente de forma duradoura, tanto no assentamento quanto no revestimento. Outro papel da cal na argamassa é infiltrar nos vazios dos blocos, cimentando-os, pelo procedimento de recristalização dos hidróxidos e da reação química com o anidrido carbônico do ar, oferecendo a aderência da argamassa nos blocos (GUIMARÃES, 2002).

3.1.1.3. Agregado Miúdo (Areia)

Segundo Sabbatini (1986), as propriedades importantes para as areias são duas, granulometria e composição mineralógica. Em relação à composição mineralógica, na região sul do país são muito empregadas areias siliciosas, de origem da decomposição das rochas feldspáticas, renomadas popularmente como granitos ou gnaisses. Com relação à granulometria, as atuações podem ocorrer de acordo com as dimensões dos grãos, a distribuição granulométrica e a forma dos grãos.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), agregado miúdo são cujos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Segundo Dubaj (2000), a areia de rio é o agregado mais empregado nas misturas de argamassas. As atribuições principais deste material são diminuir o consumo de aglomerantes, ampliar a resistência à compressão, diminuir a retração e

auxilia no preenchimento dos vazios, considerando que seus grãos tem dimensão máxima de até 4,8 mm.

A distribuição granulométrica da areia tem importância diretamente no comportamento da argamassa, interferindo na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco; no revestimento finalizado, exerce importância na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM et al., 2003).

De acordo com MINEROPAR (2004) os agregados têm três atribuições principais:

- Gerar o aglomerante de um material de enchimento relativamente econômico;
- Gerar a pasta de partículas adequadas para resistir às cargas aplicadas, ao desgaste mecânico e à percolação da intempérie;
- Diminuir as variações de volume resultantes do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de cimento, cal e água.

De acordo com MINEROPAR (2004), os agregados se agrupam quanto a sua origem em: agregados naturais, os quais são identificados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia de rio), e os agregados artificiais, os quais exigem uma modificação textural para chegar à condição adequada ao seu uso, como é o caso da areia de origem da britagem das rochas como basaltos, calcários, sílex, pórfiros, arenitos quartzitos e gnaisses.

3.1.2. Propriedades da Argamassa

Segundo Sabbatini (1986), as argamassas possuem como função essencial unir solidamente os blocos, distribuir as cargas pela estrutura, absorver as deformações que acontecem na estrutura e gerar o isolamento para evitar a penetração de água ou qualquer outra impureza. Para isso, devem apresentar certas propriedades especificadas em norma.

Para Pczieczek (2017), as propriedades das argamassas podem ser subdivididas em dois conjuntos principais: argamassas no estado plástico e argamassas no estado endurecido. No estado plástico, é fundamental ser analisadas algumas propriedades importantes que interferem na característica final da

argamassa, que são: a consistência, a trabalhabilidade, a plasticidade, a retenção de água. No estado endurecido, para garantir um bom comportamento ao longo da sua vida útil, é essencial verificar a resistência mecânica, a durabilidade, a retração, a capacidade de absorver deformações e a aderência ao substrato.

3.1.2.1. Trabalhabilidade

Segundo Carasek (2010), a trabalhabilidade estabelece a facilidade de manuseio da argamassa ao ser misturada, conduzida e aplicada. É resultante de outras propriedades, como a consistência, a plasticidade, a retenção de água, a exsudação, a densidade e a adesão inicial.

Esta propriedade associa-se essencialmente à consistência. Em termos práticos, a trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Assim, uma argamassa é trabalhável, de um modo geral, quando ela distribui-se facilmente ao ser assentada, não agrega na ferramenta no momento da aplicação, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorvivas e permanece plástica por tempo considerável para que a operação seja completada (SABBATINI, 1984).

A consistência é a forma de analisar em conjunto a trabalhabilidade e plasticidade, propriedades que só podem ser avaliadas por quem manuseia e faz a aplicação da argamassa. A trabalhabilidade é considerada uma propriedade qualitativa, sendo avaliada de forma comparativa (ISHIKAWA, 2004).

3.1.2.2. Consistência e Plasticidade

Segundo Carasek (2010), a consistência está relacionada à capacidade da argamassa deformar-se sob a execução de cargas. É influenciada pela quantidade de água na mistura. Argamassas de consistência mais fluidas apontam menor tensão de escoamento. Já a plasticidade está associada com a capacidade da argamassa manter-se deformada após a redução das tensões de deformação.

A plasticidade da argamassa depende do propósito e da aplicação da mesma, e necessita uma quantidade ideal de água para que alcance uma ótima consistência. Logo, consistência e plasticidade são condições importantes para se obter trabalhabilidade (CARASEK, 2010).

Segundo Pinto, Gomes e Pinto (2006), a consistência e a plasticidade são duas características que se relacionam com a trabalhabilidade e que, de uma forma sintética se determinam da seguinte forma:

- Consistência é a propriedade que a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são estipuladas. A consistência corresponde à fluidez de uma argamassa fresca que pode ser identificada em seca, plástica e fluida.
- Plasticidade é a propriedade que concede à argamassa deformar-se sem rotura, sob a ação das forças que sobre ela atuam e conservar a deformação após ter cessado a aplicação da ação.

3.1.2.3. Retenção de água

De acordo com Sabbatini (1986), retenção de água é a competência da argamassa em conservar a água na mistura quando ela entra em contato com os blocos, que tem extremo poder de sucção, assim não possibilitando que o bloco tire a água da argamassa.

Segundo Ishikawa (2004), a argamassa deve apresentar uma retenção de água na mistura para poder apresentar uma ótima trabalhabilidade no decorrer da sua aplicação, diminuindo assim a exsudação (tendência de apartação da pasta de cimento da argamassa dos agregados, devido ao efeito da gravidade).

A propriedade de manter a retenção de água na argamassa resguarda a trabalhabilidade no estado fresco e ajuda a assegurar a cura apropriada para alcançar as características almejadas. Caso a retenção da água não for realizada de forma correta, afetará na argamassa endurecida, atrapalhando a durabilidade, resistência mecânica e aderência (CARASEK, 2010).

3.1.2.4. Resistência Mecânica

Segundo Recena (2007), a grandeza da resistência está ligado ao emprego da argamassa e às necessidades de projeto, sendo um importante fator para o controle e avaliação da qualidade.

Segundo Santos (2008), seja qualquer tipo de aplicação, toda argamassa no seu estado endurecido é submetida a algum tipo de esforço mecânico. As argamassas de revestimento são submetidas a abrasão superficial, tensões de cisalhamento, impacto e mudanças térmicas. E as argamassas de assentamento são exigidas a compressão.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2001) para uma argamassa estar em conformidade deve atingir as exigências expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Exigências mecânicas e reológicas para argamassas.

Tabela 1 – Exigências mecânicas e tecnológicas para argamassas.			
Características	Identificação	Limites	Métodos
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	≥ 0,1 e < 4,0	NBR 13279
	II	≥ 4,0 e ≤ 8,0	
	III	> 8,0	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	a	< 8	NBR 13278
	b	≥ 8 e ≤ 18	
	c	> 18	
Exemplo de identificação de argamassa: I-Normal-a.			

Fonte: ABNT, NBR 13281 (2001).

3.1.2.5. Durabilidade

Compreende-se que durabilidade é a capacidade da argamassa atender às utilidades esperadas, de acordo com o projeto, sem provocar complicações à estrutura, conservando a estabilidade química e física, resistindo a situações normais no ambiente em que ela estará exposta. Para condições exclusivas em que a agressividade seja mais significativa, deve ser feita o emprego de argamassas especiais, dosadas de acordo com a circunstância na qual será submetida (RECENA, 2007).

3.1.2.6. Retração

A retração em argamassas acontece devido ao desaparecimento rápido de água de amassamento e pelas reações na hidratação dos aglomerantes, causando as fissuras nos revestimentos. As argamassas ricas em cimento apresentam maior probabilidade para o aparecimento de fissuras durante a secagem (SANTOS, 2008).

Segundo Carasek (2010), a retração também sofre influência pelo teor de materiais pulverulentos e pelo teor de água das argamassas. De um aspecto geral, quanto maior o teor de finos, maior a retração, pois requer maior abundância de água de amassamento. A variação do volume da pasta aglomerante origina perda de desempenho das argamassas aplicadas, especialmente no que diz respeito à durabilidade e estanqueidade.

3.1.2.7. Capacidade de absorver pequenas deformações

De acordo com Carasek (2010), o revestimento de argamassa é fundamental apresentar capacidade de absorver pequenas deformações de modo a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade. Esta propriedade da argamassa está associada ao módulo de elasticidade e à resistência mecânica das argamassas, podendo atuar na fissuração e na aderência dos revestimentos. A resistência mecânica e a competência de absorver deformações são inversamente proporcionais, pois a deformação do material para um mesmo carregamento é tanto menor quanto maior for a sua capacidade de resistência.

De acordo com Pinto, Gomes e Pinto (2006) tal propriedade concede às argamassas deformarem-se, sem roturas, por meio de microfissuras que não comprometem a sua aderência, estanqueidade e durabilidade.

3.1.2.8. Aderência

De acordo com Pinto, Gomes e Pinto (2006) a aderência é a propriedade que possibilita a argamassa a absorver tensões (normais ou tangenciais) na superfície da interface com a base. Em outras palavras, essa é a propriedade que permite a argamassa aderir a base.

Segundo Recena (2007), uma das essenciais características para a argamassa é a de aderência ao substrato. Tem como trabalho unir os elementos da alvenaria ou do revestimento, mesmo sofrendo com dilatação térmica, impactos e movimentações.

A competência que a argamassa dispõe de se manter fixa ao substrato diante das tensões normais e tangenciais que aparecem no substrato-argamassa é conhecida por aderência. Devido sua plasticidade e retenção de água a argamassa mista (cimento e cal) apresenta uma boa aderência, pois possibilita um bom preenchimento das irregularidades da base (SANTOS, 2008).

3.1.3. Fabricação da Argamassa

Segundo Pinto, Gomes e Pinto (2006), no decorrer do processo de produção da argamassa deve-se atentar para que obtenha uma mistura homogênea e íntima entre todas as matérias-primas integrantes. No decorrer da fabricação todos os elementos da areia devem ser completamente cobertos pela pasta de cimento. As argamassas que se utilizam normalmente na construção civil podem ser produzidas por processos mecânicos ou manuais.

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), a mistura da argamassa deve ser produzida através de processos mecanizados, ou em casos excepcionais, utiliza-se o processo manual, até a obtenção de uma massa perfeitamente homogeneizada.

3.1.3.1. Amassadura Mecânica

No procedimento de amassadura mecânica para a produção da argamassa são empregados os seguintes equipamentos e utensílios: pá, enxada, colher de pedreiro, baldes para areia, para água e para massa, carrinho de mão e betoneira. O ambiente de abrigo da betoneira tem que ser abrigado do vento e da chuva e localizado próximo ao destino final onde vai ser utilizada a argamassa (PINTO; GOMES; PINTO, 2006).

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), no processo de amassadura mecanizado o tempo de mistura da argamassa na betoneira não deve ser inferior a 3 min e nem superior a 5 min.

De acordo com Pinto, Gomes e Pinto (2006), com a betoneira já situada, o procedimento de amassadura deve seguir os seguintes passos:

- Inserir uma parte de água, de modo a molhar as paredes do tambor;
- Conservação das matérias primas, junto ao lugar de confecção;
- Medição e introdução componentes: ligante e areia;
- Introdução do resto da água;
- Fusão das matérias primas até obtenção da consistência desejada e uniformidade da massa.

3.1.3.2. Amassadura Manual

Na produção da argamassa por meio do amassamento manual são utilizados as seguintes equipamentos e utensílios: estância, pá, enxada, pilão, colher de pedreiro, baldes para areia, para água e para massa (PINTO; GOMES; PINTO, 2006)

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), no processo de amassamento manual na fabricação de argamassa devem ser preparados volumes de argamassa inferior a 0,05 m³ de cada vez.

De acordo com Pinto, Gomes e Pinto (2006) a produção manual da argamassa dispõe das seguintes etapas:

- Instalação da estância em local predefinido, de preferência em locais cobertos;
- Armazenagem da matéria prima próximo ao local de produção;
- Os constituintes devem ser medidos, em volume, usando baldes ou outra medida de capacidade conhecida, como referência;
- Fusão a seco do ligante junto a areia, logo em seguida a formação de um monte com cratera no meio;
- Introduzir a água na cratera e misturar manualmente, usando pás e enxadas, até atingir a homogeneidade e consistência pretendidas.

3.2. AGREGADO (GRANULOMETRIA)

Segundo Varela (2018), a granulometria é a disposição, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos. Consiste na determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagens. A granulometria é definida através de um peneiramento, o qual compreende-se em peneiras com determinadas aberturas e padrões diferentes.

A composição granulométrica é a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões, e é comumente expressa em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou de porcentagens entre exatos intervalos de abertura das peneiras (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo a NBR 7211/2005, a proporção máxima característica do agregado é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, equivalente à abertura de malha quadrada, em milímetros, da peneira listada na Tabela 2, à qual equivale uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

A NBR 7211/2005, também traz o conceito do módulo de finura como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. As peneiras tanto da série normal quanto da intermediária são verificadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Peneiras das séries normal e intermediária (NBR 7211, 2005)

Série normal	Série intermediária
75 mm	—
—	63 mm
—	50 mm
37,5 mm	—
—	31,5 mm
—	25 mm
19 mm	—
—	12,5 mm
9,5 mm	—
—	6,3 mm
4,75 mm	—
2,36 mm	—
1,18 mm	—
600 µm	—
300 µm	—
150 µm	—

Fonte: ABNT, NBR 7211 (2005).

3.2.1. Curvas Granulométricas

Uma análise granulométrica pode ser compreendida muito mais facilmente quando representado graficamente. Com a curva granulométrica é possível enxergar, numa simples olhada, se a granulometria da amostra se ajusta em uma especificação, ou se é muito grossa ou muito fina, ou deficiente em um delimitado tamanho. Nas curvas granulométricas habitualmente utilizadas, as ordenadas representam as porcentagens acumuladas retidas e as abscissas, as aberturas das peneiras. (NEVILLE, 1997).

Segundo Carneiro e Cincotto (1999), o primórdio para composição e dosagem de uma argamassa com base na curva granulométrica está em adquirir uma argamassa trabalhável no estado fresco e que apresente, no estado endurecido, uma compacidade elevada, com volume de vazios reduzido e com capacidade de deformação.

3.2.2. Forma e Textura

A forma corresponde as características geométricas, tendo como exemplo arredondada, angulosa ou achatada. Partículas geradas por atrito tendem a possuir forma arredonda, por ter perdido vértices e arestas. Agregados quando possuem vértices e arestas bem definidos são chamados de angulosos. Já as partículas cuja espessura é relativamente pequena em relação as outras dimensões são chamadas de achatadas ou lamelares, já as que o comprimento é consideravelmente maior que as outras dimensões são chamadas de alongadas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Quando se trata do agregado miúdo, sua forma e textura superficial têm um efeito importante sobre a demanda de água de amassamento da mistura, enquanto a lamelaridade e a forma do agregado graúdo geralmente têm um efeito apreciável sobre a trabalhabilidade (NEVILLE, 1997).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida utilizando três tipos de areia com granulometria (média e grossa) comprada na cidade Natal – RN e a fina obtida no laboratório da UFRN. Estas areias foram submetidas a uma caracterização preliminar, ensaio de granulometria e em seguida foram definidos os traços das argamassas com cada tipo de areia. Posteriormente, as argamassas foram produzidas e realizaram-se os ensaios no seu estado fresco e endurecido. Os ensaios experimentais foram realizados no laboratório de construção civil da UFRN.

4.2. CIMENTO

O cimento utilizado na formulação da argamassa foi o cimento Apodi (CP II – Z – 32 – RS). Possui a característica de uso geral, reboco e chapisco, calçadas, pisos e lajes.

4.3. AREIA

Para fabricação das argamassas foram utilizadas três tipos de areia com granulometria (fina, média e grossa). A areia fina foi utilizada uma que se encontrava no laboratório da UFRN, já as demais foi utilizada da marca Forte Mineração.

4.4. FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Para a fabricação das argamassas foram realizados três traços com areia de granulometria (fina, média e grossa) contendo cimento e areia em uma proporção em massa de 1:3.

4.5. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS

4.5.1. Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria tem como objetivo analisar a distribuição granulométrica do agregado e representá-la através de uma curva. A análise granulométrica das amostras de areia foi realizada segundo a NBR NM 248/2003 que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos, destinados ao preparo da argamassa. Para a realização do ensaio, de acordo com a NBR NM 248/2003, necessitou de uma balança com resolução de 0,1% da massa da amostra de ensaio, estufa para secagem, peneiras da série normal e intermediária, agitador mecânico de peneiras, bandejas, escova e pincel de cerdas macias.

As peneiras da série normal e intermediária utilizadas para a determinação da granulometria das areias estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Peneiras utilizadas na caracterização granulométrica

Série Normal	Série intermediária
—	6,3 mm
4,8 mm	—
2,4 mm	—
1,2 mm	—
600 µm	—
300 µm	—
150 µm	—

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Figura 1: Peneiras utilizadas no ensaio granulométrico e agitador mecânico



Fonte: Autoria Própria, 2018.

4.5.2. Ensaio de consistência da argamassa

O ensaio de consistência tem como objetivo estabelecer a quantidade de água necessária para a fabricação das argamassas fixando um índice de consistência em 260 ± 5 mm, de acordo com as prescrições da NBR 13276 (2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Para realização do ensaio de acordo com a NBR 13276 (2005) necessitou de uma balança de resolução de 0,1g, mesa para índice de consistência, molde tronco cônico, soquete, misturador mecânico e paquímetro para medições de até 300mm com resolução de pelo menos 1mm.

Figura 2: Ensaio de consistência na mesa de abatimento e medição com o paquímetro



Fonte: Autoria Própria, 2018.

4.5.3. Ensaio de Resistência à compressão e à tração na flexão

Foram ensaiados 3 corpos de provas prismáticos (4cm x 4cm x 16cm) para cada formulação de traço, para o ensaio de resistência a tração na flexão. Para o ensaio de resistência a compressão, utilizou-se a metade dos corpos de provas utilizados no ensaio de resistência a tração na flexão. Os corpos de prova foram rompidos na idade que a argamassa atinge a sua resistência máxima, nos 28 dias, de acordo com a NBR 13279 (2005).

O processo de moldagem dos corpos de prova se deu através da NBR 13279 (2005), como a norma prescreve, antes da moldagem colocou-se os moldes prismáticos sobre a mesa de adensamento fixando-os adequadamente, em seguida aplicou-se uma fina camada de óleo mineral nas faces internas dos moldes, imediatamente após o preparo da argamassa, com o molde fixo a mesa de adensamento, foi introduzido em cada compartimento do molde uma porção de argamassa e formou-se uma camada uniforme. Em seguida, foi aplicado 30 quedas através da mesa de adensamento. Logo após foi introduzido a segunda camada e procedeu-se o mesmo procedimento da primeira camada. Finalmente, foi rasado os corpos de prova com uma régua metálica. Durante as primeiras 24 horas, todos os corpos de provas foram mantidos em local protegido de intempéries. Por fim os corpos de prova foram desmoldados e identificados, e em seguida, submersos em água para cura até o momento dos ensaios.

Figura 3: Ensaios de Resistência a tração na flexão e a compressão



Fonte: Autoria Própria, 2018.

4.5.4. Ensaio da densidade de massa aparente no estado endurecido

Foram ensaiados 3 corpos de provas prismático (4cm x 4cm x 16cm) para cada formulação de traço, para o ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido. Foram moldados e curados os corpos de prova até a idade de 28 dias. De acordo com a NBR 13280 (2005) determinou-se com o auxílio de um paquímetro, a altura, a largura e o comprimento dos corpos de provas. Logo após foi determinado as massas e por fim foram calculados os volumes e as densidades através das equações que a norma descreve.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Para realizar o ensaio foi obedecido as seguintes etapas: Após serem colhidas as amostras de areia, elas foram empregadas na estufa, sob uma temperatura de 105 a 110 °C até atingir a secagem ideal. Suas massas foram medidas, 500g de cada amostra e realizou-se então o peneiramento de cada amostra, de forma mecânica, com o conjunto de peneiras postos com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Segundo os procedimentos indicados pela NBR NM 248/2003, foram medidas as massas das frações retidas e acumuladas em cada peneira e obtidas as porcentagens que esses valores representaram. Também foi efetuado o cálculo da dimensão máxima característica e do módulo de finura para cada amostra. Assim os valores finais para a análise granulométrica do agregado foram obtidos obtendo-se as médias dos valores de cada par de amostras, e melhor explicitado com o traçado das curvas granulométricas das respectivas areias.

5.1.1. Análise da Granulometria das Areias

Nesta apresentação dos resultados, estão representadas as curvas granulométricas, com as porcentagens retidas acumuladas das amostras das areias obtidas para análise, com a finalidade de avaliar as características granulométricas.

As tabelas abaixo representam os dados obtidos na análise granulométrica: A Tabela 4 mostra os dados da granulometria da areia fina; a Tabela 5 mostra os dados da granulometria da areia média, a Tabela 6 mostra os dados da granulometria da areia grossa.

Tabela 4 – Dados da granulometria da Areia Fina

Peneiras (mm)	Material retido (g)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)	Percentual passante acumulado (%)
6,3	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	0	0	0	100
1,2	0	0	0	100
0,6	0,06	0,012	0,012	99,98
0,3	1,44	0,288	0,3	99,7
0,15	476,09	95,218	95,518	4,482
Fundo	22,41	4,482	100	0
Total	500	100		

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Tabela 5 – Dados da granulometria da Areia Média

Peneiras (mm)	Material retido (g)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)	Percentual passante acumulado (%)
6,3	0	0	0	100
4,8	0,37	0,074	0,074	99,92
2,4	18,48	3,696	3,77	96,23
1,2	42,38	8,476	12,246	87,87
0,6	94,8	18,96	31,206	68,79
0,3	203,26	40,652	71,858	28,14
0,15	123,44	24,688	96,546	3,454
Fundo	17,27	3,454	100	0
Total	500	100		

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Tabela 6 – Dados da granulometria da Areia Grossa

Peneiras (mm)	Material retido (g)	Percentual retido (%)	Percentual retido acumulado (%)	Percentual passante acumulado (%)
6,3	0	0	0	100
4,8	0,645	0,129	0,129	99,87
2,4	33,95	6,79	6,919	93,08
1,2	87,35	17,47	24,389	75,61
0,6	133,34	26,668	51,057	48,94
0,3	134,34	26,868	77,925	22,07
0,15	92,61	18,522	96,447	3,53
Fundo	17,765	3,553	100	0
Total	500	100		

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Tabela 7 abaixo apresenta os módulos de finura e o diâmetro máximo (D_{máx}) das areias obtidas para o ensaio granulométrico:

Tabela 7 – Grandezas utilizadas na composição granulométrica

Areia	Módulo de Finura (MF)	D _{máx} (mm)
Fina	0,96	0,3
Média	2,147	2,4
Grossa	2,57	4,8

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A Tabela 8 representa os limites dos agregados miúdos em relação ao seu módulo de finura, segundo a NBR 7211/2005.

Tabela 8 – Limites dos agregados miúdos em relação ao seu módulo de finura

Zona Ótima	Zona Utilizável Inferior	Zona Utilizável Superior
2,20 a 2,90	1,55 a 2,20.	2,90 a 3,50

Fonte: ABNT, NBR 7211 (2005).

A Tabela 9 abaixo descreve os limites granulométricos do agregado miúdo de acordo com a NBR 7211/2005.

Tabela 9 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (NBR 7211, 2005)

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

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

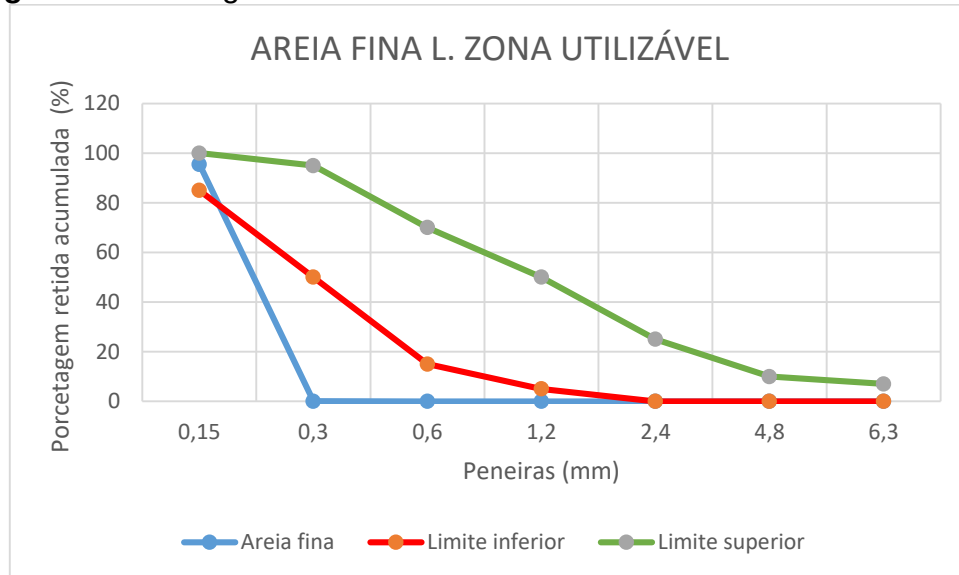
2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT, NBR 7211 (2005).

A Figura 4 abaixo representa a curva granulométrica da Areia Fina, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona utilizável.

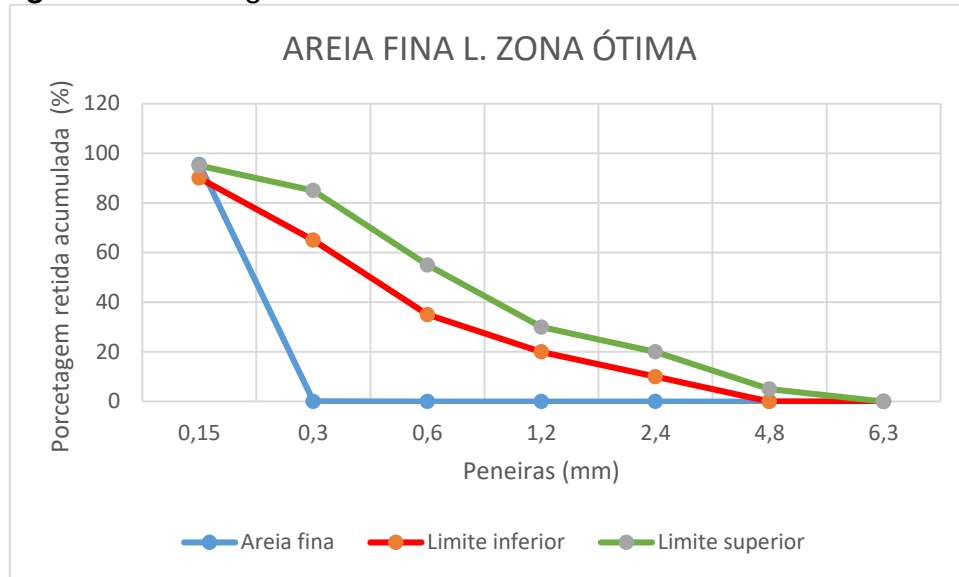
Figura 4 - Curva granulométrica da Areia Fina entre os limites utilizáveis



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Comparando seu módulo de finura encontrado na Tabela 8 com os valores dos limites dos agregados miúdos segundo a NBR 7211/2005 (ver Tabela 9), observa-se que seu módulo de finura não está incluído nos limites utilizáveis que a norma determina. Os valores da curva granulométrica da areia fina como pode ser observado na Figura 4 também não ficou incluído nos limites utilizáveis que a norma determina.

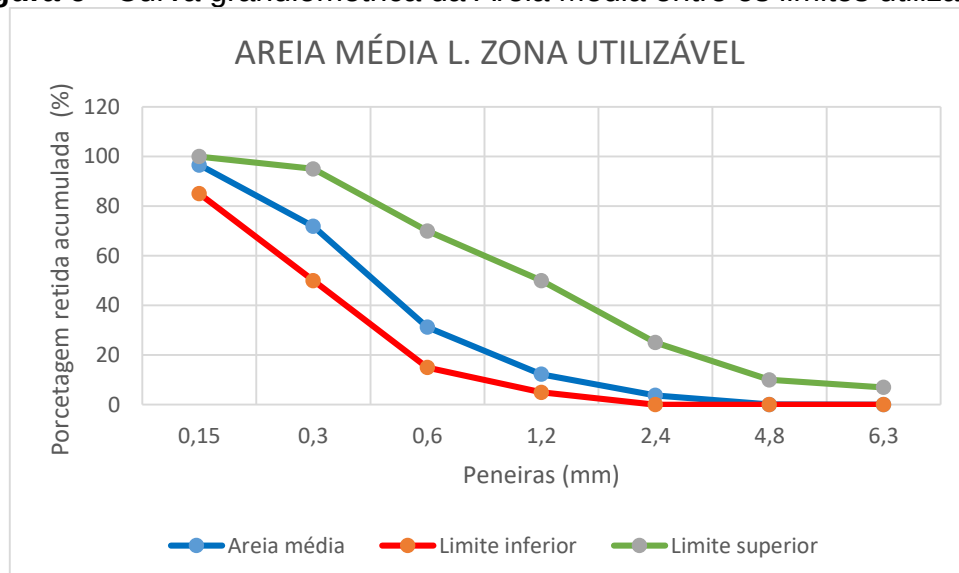
A Figura 5 abaixo representa a curva granulométrica da Areia Fina, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona ótima.

Figura 5 - Curva granulométrica da Areia Fina entre os limites ótimos

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os valores da curva granulométrica da areia fina como pode ser observado na Figura 5 também não ficaram inseridos nos limites ótimos os quais a norma determina.

A Figura 6 abaixo representa a curva granulométrica da Areia Média, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona utilizável.

Figura 6 - Curva granulométrica da Areia Média entre os limites utilizáveis

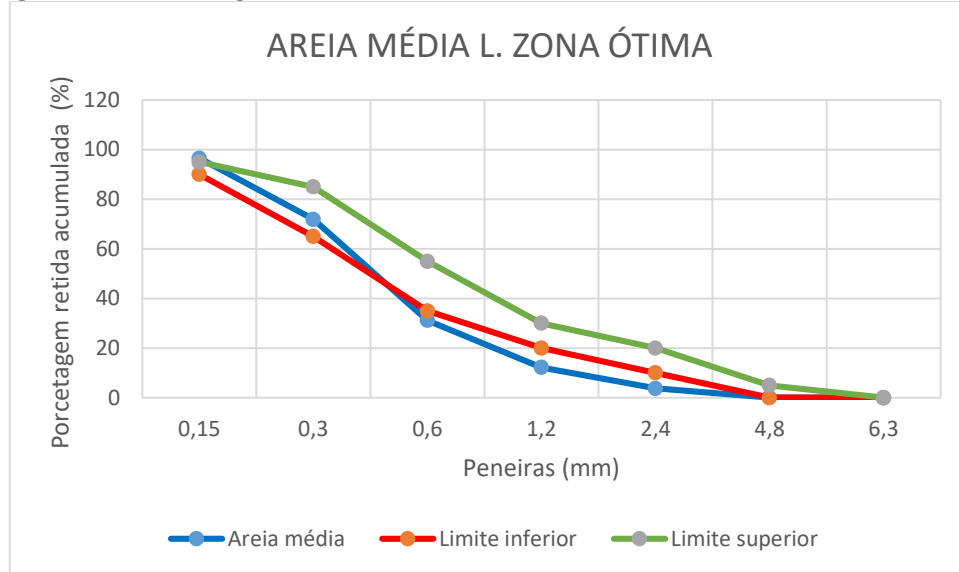
Fonte: Autoria Própria, 2018.

Comparando seu módulo de finura encontrado na Tabela 8 com os valores dos limites dos agregados miúdos segundo a NBR 7211/2005 (ver Tabela 9), observa-se que seu módulo de finura está incluído no limite utilizável inferior que a norma

determina. Os valores da curva granulométrica da areia média como pode ser observado na Figura 6 ficaram incluídos nos limites utilizáveis que a norma determina.

A Figura 7 abaixo representa a curva granulométrica da Areia Média, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona ótima.

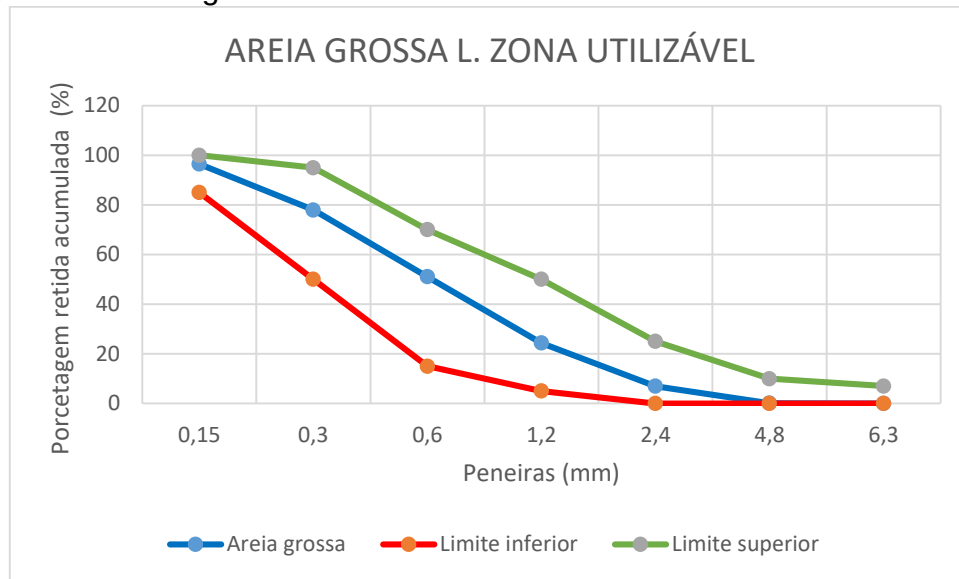
Figura 7 - Curva granulométrica da Areia Média entre os limites ótimos



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Como pode ser observado na Figura 7 os valores da curva granulométrica da areia média, alguns pontos ficaram dentro dos limites da zona ótima mas outros não, então não se enquadra nos limites da zona ótima como descreve a norma.

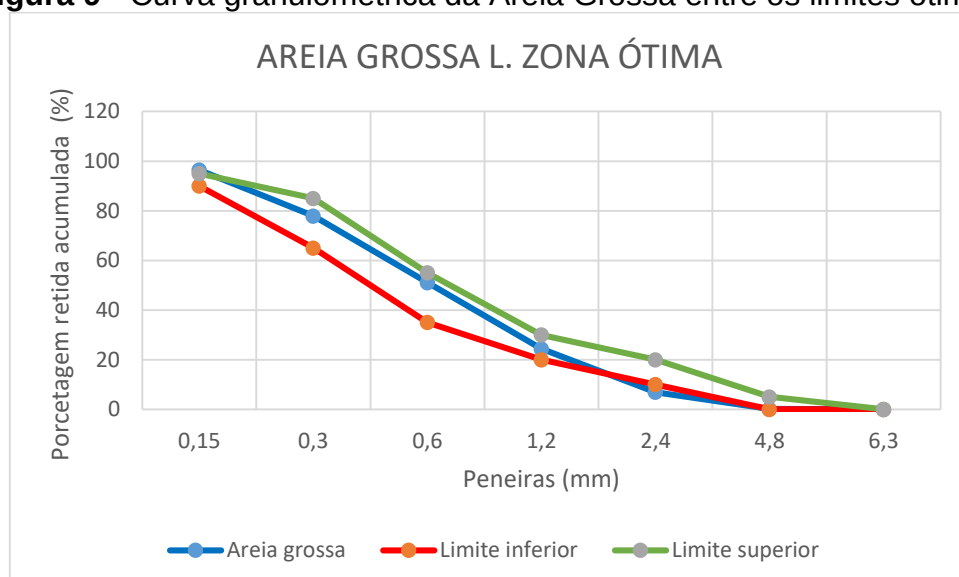
A Figura 8 abaixo representa a curva granulométrica da Areia Grossa, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona utilizável.

Figura 8 - Curva granulométrica da Areia Grossa entre os limites utilizáveis

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Comparando seu módulo de finura encontrado na Tabela 8 com os valores dos limites dos agregados miúdos segundo a NBR 7211/2005 (ver Tabela 9), observa-se que seu módulo de finura está incluído no limite da zona ótima que a norma determina. Os valores da curva granulométrica da areia grossa como pode ser observado na Figura 8 ficaram incluídos nos limites utilizáveis que a norma determina.

A Figura 9 abaixo representa a curva granulométrica da Areia Grossa, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona ótima.

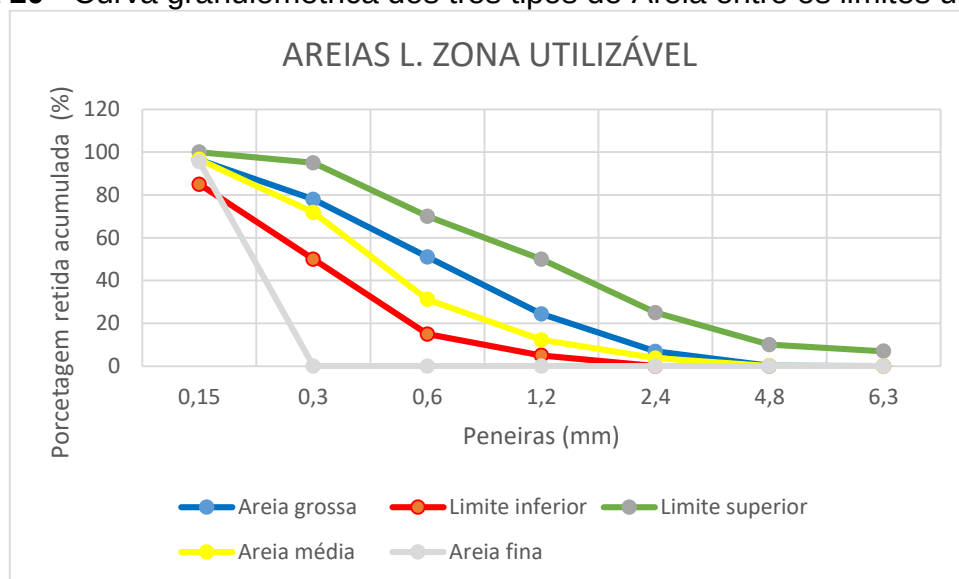
Figura 9 - Curva granulométrica da Areia Grossa entre os limites ótimos

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Como pode ser observado na Figura 9 os valores da curva granulométrica da areia grossa, só um ponto não ficou dentro dos limites da zona ótima mas os demais ficaram, como um dos pontos não atendeu o limite da zona ótima como descreve a norma, então não se enquadra.

A Figura 10 abaixo representa as curvas granulométricas dos três tipos de Areias, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona utilizável.

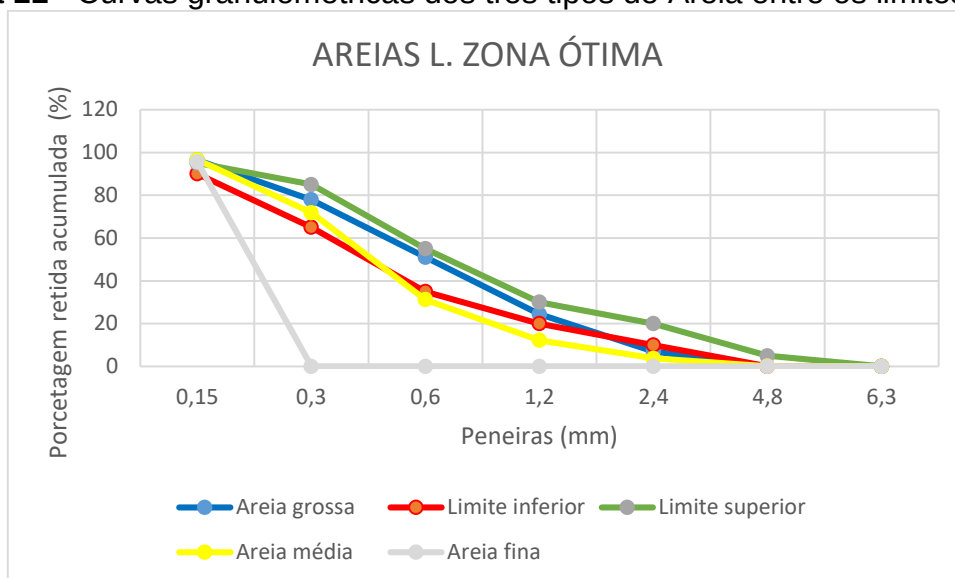
Figura 10 - Curva granulométrica dos três tipos de Areia entre os limites utilizáveis



Fonte: Autoria Própria, 2018.

A partir da Figura 10, observa-se que a única areia que não apresentou uma distribuição granulométrica inserida entre os limites da zona utilizável, como descreve a norma, foi a fina.

A Figura 11 representa as curvas granulométricas dos três tipos de Areia, comparada aos limites granulométricos da NBR 7211//2005, inseridas entre os limites da zona ótima.

Figura 11 - Curvas granulométricas dos três tipos de Areia entre os limites ótimos

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A partir da Figura 11, observa-se que todas as areias utilizadas apresentavam uma distribuição granulométrica fora dos limites da zona ótima como descreve a norma.

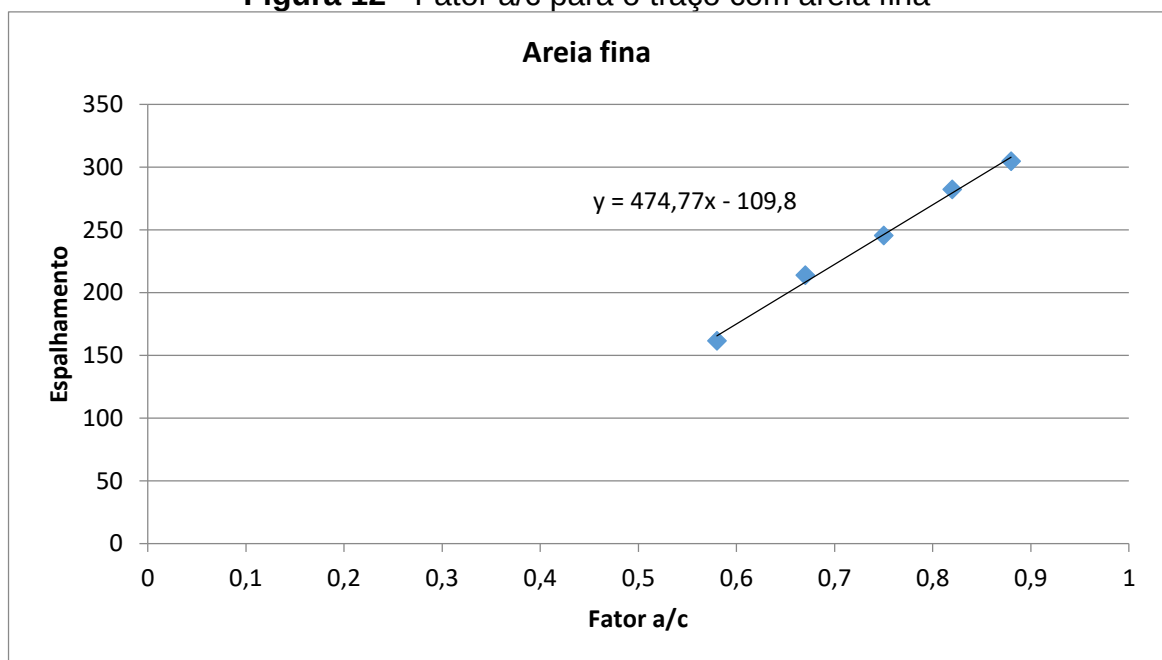
5.2. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA

Para determinar o fator água/cimento de cada argamassa foi utilizado o método das tentativas. Onde foi realizado o mesmo procedimento para as três formulações de argamassa diferente. Para fabricação da argamassa com areia fina foi colocado na argamassadeira os materiais secos (500g de cimento e 1500g de areia) e uma fração muito baixa de água com o propósito de se adquirir um pequeno espalhamento. Em seguida a argamassa foi levada para mesa de abatimento e foi realizado o espalhamento. Visto que não se obteve o espalhamento adequado, juntou novamente a argamassa na argamassadeira e colocou mais um pouco de água e levou a argamassa novamente para mesa de abatimento. Percebeu-se novamente que não atingiu o espalhamento adequado e colocou a massa novamente na argamassadeira adicionando mais água, e realizando o ensaio novamente e sempre que adicionado água registrando em uma planilha a quantidade para adquirir o fator a/c de cada tentativa. Para a argamassa com areia média e grossa a quantidade de materiais secos foi a mesma da primeira formulação. Cada vez que o ensaio foi realizado

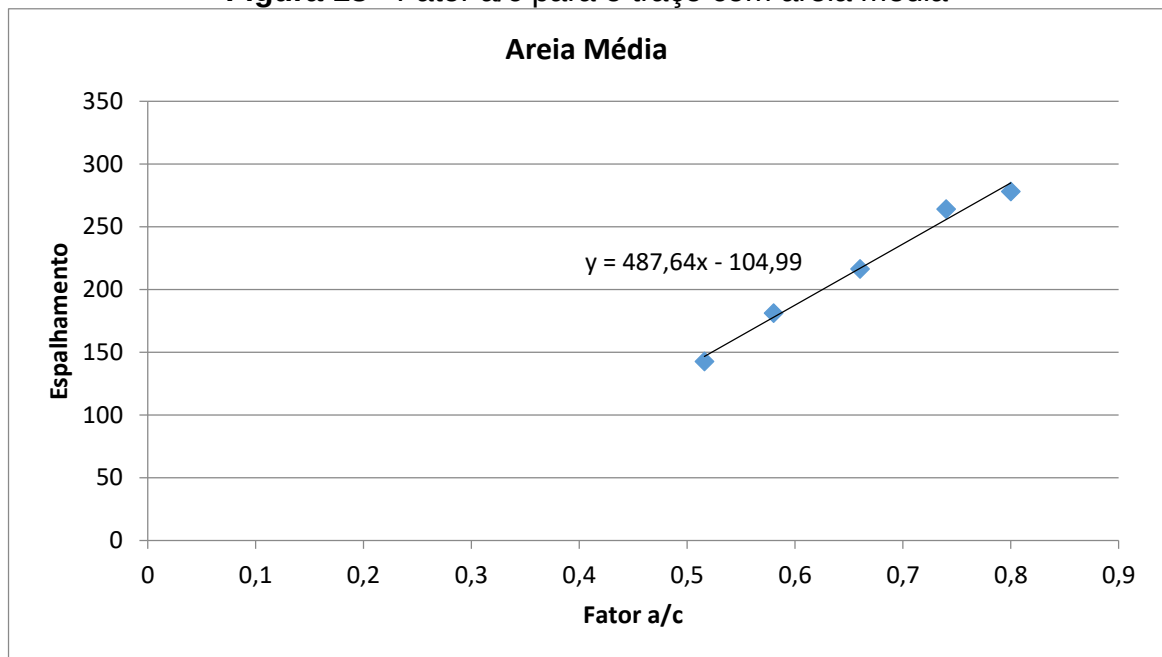
obteve-se valores de espalhamento D1, D2 e D3 para cada tentativa, possibilitando assim a construção de um gráfico com as médias entre D1, D2 e D3 em relação ao fator água cimento, como mostra a figura 12, 13 e 14 a seguir. Assim com os pontos marcados no gráfico permitiu a construção de uma reta ligando os pontos, onde a partir dela permitiu encontrar o fator água/cimento para o espalhamento adequado de 260 ± 5 mm para cada formulação de areia diferente. No momento em que achou o fator A/C, foi calculado novamente um novo traço usando o novo fator e conferindo se realmente era obtido o espalhamento adequado de acordo com a NBR 13276 (2005).

A realização desse método existe uma perda de água para o meio ambiente no momento que retira a argamassa da mesa de abatimento e coloca novamente na argamassadeira. Mas essa perda de água é muito pequena tendo em vista que a sala do laboratório possui ar condicionado e sempre os materiais que foram sendo utilizados para realização do ensaio estavam bem umedecidos.

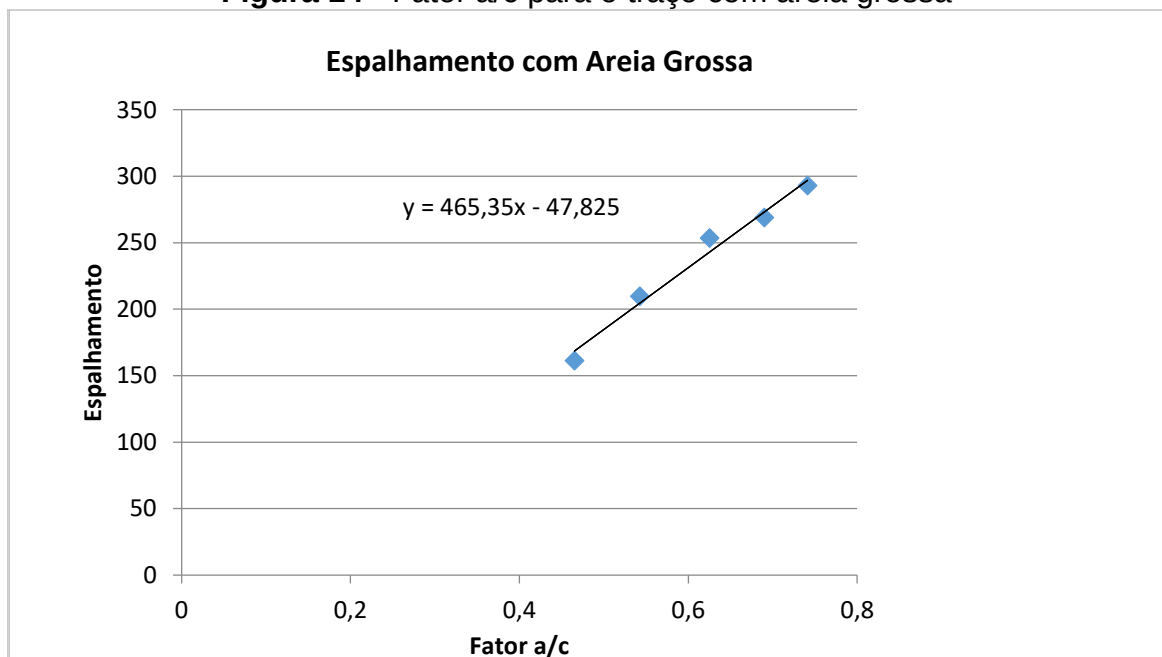
Figura 12 - Fator a/c para o traço com areia fina



Fonte: Autoria Própria, 2018.

Figura 13 - Fator a/c para o traço com areia média

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Figura 14 - Fator a/c para o traço com areia grossa

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O ensaio de consistência da argamassa descreveu resultados diferentes para o fator água/cimento de cada formulação como especifica a tabela 10.

Tabela 10 - Fator água/cimento

Tipos de Areia	Fator Água/Cimento
Fina	0,78
Média	0,74
Grossa	0,66

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Esses dados condiz aos valores ótimos de água/ cimento para ter uma consistência adequada em cada traço. Percebe-se que o traço com areia fina necessitou de uma quantidade de água maior, isto porque aumentou a quantidade de finos, resultando assim em um maior consumo de água.

5.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E À TRAÇÃO NA FLEXÃO

5.3.1. Resistência à Compressão aos 28 dias

A tabela 11 mostra os resultados do ensaio de resistência a compressão aos 28 dias, ao analisar os resultados, é visto que a resistência foi maior com areia grossa em comparação com a fina e a média.

Tabela 11 - Resultado do ensaio de resistência a compressão da argamassa aos 28 dias

Tipos de Areia	Resistência a compressão (MPa)
Fina	10,29
Média	15,75
Grossa	21,16

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A formulação com areia fina obteve a menor resistência a compressão como era de se esperar, devido ao alto fator água/cimento, visto que a quantidade de finos consome uma quantidade maior de água para proporcionar à mistura uma trabalhabilidade apropriada, como visto na Tabela 11. E como a resistência a compressão é inversamente proporcional ao fator água/cimento, proporcionou a uma resistência menor a mistura. Segundo Santiago (2007) a argamassa com o auto teor de finos irá dificultar o envolvimento dos grãos pela pasta, quanto a dispersão regular e homogênea dos mesmos, o que gera a menor resistência mecânica.

Os resultados de resistência a compressão com a areia média foram um pouco maiores do que a fina visto que o fator de água/cimento é menor e o teor de finos também menor.

A areia grossa, por possuir uma distribuição granulométrica dos agregados que compõe a argamassa, mais continua como indica a Figura 8 e 9, obteve a maior resistência a compressão, com a continuidade maior proporcionou uma estrutura mais densa, resultando em um menor índice de vazios e consequentemente, numa maior resistência.

5.3.2. Resistência à tração na flexão aos 28 dias

A tabela 12 mostra os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias. Ao analisar os resultados, é visto que a resistência foi maior com areia grossa em comparação com a fina e a média.

Tabela 12 – Resultado de resistência a tração na flexão aos 28 dias

Tipos de Areia	Resistência a tração na flexão (MPa)
Fina	3,38
Média	4,14
Grossa	4,64

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Assim como foi visto no ensaio de resistência à compressão, a resistência à tração na flexão para a formulação com areia fina obteve sua resistência também menor em comparação a areia média e grossa para mistura. Segundo Santiago (2007), devido ao auto teor de finos o envolvimento dos grãos pela mistura é dificultado acarretando uma menor resistência mecânica.

Já com a areia grossa assim como no ensaio de resistência a compressão, no ensaio de resistência a tração também foi obtido a maior resistência. Isso se explica devido a maior continuidade da curva granulométrica, teve uma maior quantidade de vazios preenchidos, resultando na maior resistência a tração.

5.4. ENSAIO DA DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO

A tabela 13 abaixo representa os valores da densidade de massa aparente no estado endurecido para cada tipo de agregado utilizado nas argamassa.

Tabela 13 – Resultado da Densidade de massa aparente no estado endurecido

Tipos de Areia	Densidade de massa (kg/m ³)
Fina	1935
Média	2023
Grossa	2109

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A tabela 14 abaixo representa a classificação das argamassa de acordo com seus valores de densidade de massa aparente no estado endurecido segundo a NBR 13281 (2005).

Tabela 14 – Densidade de massa aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido kg/m ³	Método de ensaio
M1	≤ 1 200	ABNT NBR 13280
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	>1800	

Fonte: ABNT, NBR 13281 (2005).

Comparando os valores encontrados na Tabela 13 com as faixas de valores na Tabela 14 que NBR 13281 (2005) descreve, a argamassa formulada com areia fina se insere na classe M5 e M6 e as demais formuladas com areia média e grossa na classe M6.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a verificação dos ensaios e análise dos resultados, é plausível chegar as seguintes conclusões sobre a influência da distribuição granulométrica do agregado nas propriedades da argamassa.

- Para determinar as características do agregado miúdo, é fundamental levar em consideração o módulo de finura, o diâmetro máximo, o traçado de sua curva granulométrica em relação à os limites da norma que a areia está inserida e consequentemente, a quantidade de grãos finos existente. A areia fina seu módulo de finura e os valores da distribuição granulométrica não ficaram incluídos nos limites utilizáveis e ótimos que a norma determina. Já a areia média e grossa ficaram incluídas nos limites utilizáveis mas não nos limites ótimos.
- A consistência da argamassa com areia fina proporcionou uma argamassa com trabalhabilidade adequada com um fator de água/cimento alto devido a uma maior quantidade de finos presentes na argamassa. A areia média necessitou de um fator água/cimento menor devido à menor quantidade de teor de finos presentes na argamassa, resultando em uma argamassa com um menor número de poros. Já areia grossa o fator água/cimento foi o valor mais baixo assim necessitou de uma quantidade de água menor pra adquirir a trabalhabilidade.
- No estado endurecido a argamassa com areia fina apresentou menor resistência a tração na flexão e resistência a compressão, comparada as demais, devido à grande quantidade de teor de finos presentes na argamassa dificultar o envolvimento da pasta nos grãos, maior o consumo de água, deixando a argamassa mais porosa.
- A argamassa com areia média obteve uma resistência mais elevada do que a fina este fator se explica devido o teor de finos incorporado na argamassa que dificulta o envolvimento melhor dos grãos.
- A argamassa com areia grossa obteve resistência maior dentre as demais, devido a continuidade e uma estrutura mais densa, resultando em um menor índice de vazios e consequentemente uma maior resistência.

- No ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido obteve maior densidade a argamassa com areia grossa, e através da NBR 13281 (2005), foram classificadas por classe em: Areia fina foi inserida a classe M5 E M6 e a areia média e grossa na classe M6.

Dessa forma pode-se chegar à conclusão que a distribuição granulométrica dos agregados influenciam bastante nas propriedades da argamassa. O trabalho mostrou nos ensaios que a distribuição granulométrica de três tipos de areia, afetou na consistência, resistência e densidade, de várias formas diferente, sendo areia média e grossa utilizáveis, e sendo a última os melhores resultados. Como a areia fina não atendeu aos limites utilizáveis de acordo com a norma na sua distribuição granulométrica, os resultados dela serviu apenas como mais uma amostra para comparações com as demais utilizáveis.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H.. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DOS GRÃOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.** 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248/2003:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro: Brasil, 1991. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto. 1 ed. Rio de Janeiro: Brasil, 1983. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro: Brasil, 2005. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas -Requisitos. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: Brasil, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Caicó: Brasil, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: Brasil, 2005. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: Brasil, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. 2 ed. Brasil, 2005. 7 p.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

CARASEK, Helena. Argamassas. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-941.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria Alba. **Dosagem de Argamassas Através de Curvas Granulométricas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassas utilizadas em Porto Alegre** - Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2000.

FIORITO, Antonio J.s.i. **MANUAL DE ARGAMASSA E REVESTIMENTOS: Estudo e Procedimentos de Execução**. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009. 231 p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2. Ed. São Paulo: PINI, 2002. 341 P.

HAWLITSCHKE, Gustav. **CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE AGREGADOS MIÚDOS RECICLADOS E A INFLUENCIA NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSAS**. 2014. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ISHIKAWA, Paulo Hidemitsu. **Propriedades de argamassa de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. 2004. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP1236d.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2018.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, p. 75-95. 04 jun. 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: MINEROPAR, 2004. 288 p.

NEVILLE, A. M., **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

CRUZ, Nuno Tiago Custódio Ceríaco. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DAS AREIAS NO DESEMPENHO DE REBOCOS DE LIGANTE HIDRÁULICO**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

OLIVEIRA, Valeria Faria; OLIVEIRA, Edson Aparecida de Araújo Querido. **O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional**. 2012. Disponível em: <<http://www.unitau.br/unindu/artigos/pdf570.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PCZIECZEK, Adriane. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO UTILIZANDO CINZA VOLANTE E RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS**. 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

PINTO, Ana Paula Ferreira; GOMES, Augusto; PINTO, João Bessa. **Materiais de construção: Argamassas**. 2006. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563568428747271/Texto_Argamassa_6Dez07_2013.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.

RECENA, Fernando A. P. **Conhecendo Argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. São Paulo. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente**. Boletim técnico 02/86. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: Edufba, 2007. 222 p.

SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil.** 2008. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.** 2008. 50f. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE CIMENTO, CAL E AREIA BRITADA DE ROCHA CALCÁRIA.** 2006. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Construção Civil, Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VARELA, Marcio. **GRANULOMETRIA.** Disponível em:
<<https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/materiais-deconstrucao/granulometria-1/granulometria>>. Acesso em: 08 jul. 2018.