



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL



IGOR MAURÍCIO PAULINO

**PROPRIEDADES DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO METACALIM
E RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO**

CAMPINA GRANDE – PB

2020

IGOR MAURÍCIO PAULINO

**PROPRIEDADES DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO METACAULIM
E RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para encerramento do componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Aline Figueiredo Nóbrega de Azerêdo

CAMPINA GRANDE – PB

2020

IGOR MAURÍCIO PAULINO

**PROPRIEDADES DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO METACALUM
E RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para encerramento do componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Aline Figueiredo Nóbrega de Azerêdo

Apresentado e aprovado em ____ de _____ de 2020

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo
Orientadora

Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena
Examinador Interno

Eng. Francisco de Assis da Costa Neto
Examinador Externo

Eng. Pablo Ricalli Ribeiro Feitosa
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE – PB

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter me proporcionado saúde, paz, misericórdia e conforto em todos os momentos ao longo desses anos de graduação.

A meus pais, Antônio e Ivonete, por tudo que fizeram por mim. Pelo conforto, preocupações, amparo, cuidado, paciência que sempre tiveram comigo durante toda essa jornada acadêmica. Pelo seu amor, carinho, admiração e orações. Nunca mediram esforços para me proporcionar este momento, a realização de um sonho, por tudo isso eu sou imensamente grato. Aos meus irmãos, Anderson e Ítalo pelo carinho de sempre comigo. A padrinho Kinka, madrinha Terezinha e tia Ivanilde pelo apoio, carinho e preocupação.

A Professora Dra. Aline Figueiredo Nóbrega de Azerêdo por ter partilhado seus conhecimentos, amizade comigo nesses últimos anos. Sempre disposta a me auxiliar, mesmo nesse momento de pandemia, com maior carinho, atenção e zelo.

Aos meus amigos do “Pré13” (Amanda, Nicolý, Clara, Adylla) e “Caimon” (Mariana, Isabelle, Ariane e Zé) que sempre se mantiveram presentes, mesmo longe, me dando encorajamento, força, positividade e momentos de descontração e alegria.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que fizeram parte da minha formação como engenheiro civil. Em especial aos meus amigos Hélio, Tatiany, Letícia, Sabrina, Bia, Lana, Ayssa e Zira que contribuíram com sua amizade, tornando a realização desse sonho cheia de bons momentos, alegrias, descontrações e companheirismo. As professoras Patrícia, Marília pelo apoio, carinho e orientações, fundamentais nas tomadas de decisões ao longo da minha jornada acadêmica.

In memoriam de Antônio Paulino Gomes Neto.

A todos vocês toda minha gratidão, carinho e respeito.

PROPRIEDADES DE ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO METACAULIM E RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO

PAULINO, Igor Mauricio¹
AZERÊDO, Aline Figueiredo Nóbrega de²

RESUMO

Com o constante crescimento e desenvolvimento da construção civil ao longo dos anos, fez-se necessário o investimento em novas tecnologias de aprimoramento do processo construtivo. Diante desse cenário, surgiu a argamassa estabilizada. Porém, tratar-se de uma tecnologia recente e da ausência de normatização de suas características, há certa desconfiança diante de suas propriedades. O presente trabalho tem o objetivo de estudar a influência do resíduo de tijolo cerâmico (RTCM) e metacaulim (MC) nas propriedades de argamassas estabilizadas para assentamento. Para isso, foram estudadas misturas de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por 10 e 20% de MC e 10 e 20% de RTCM, em massa. O traço utilizado, para preparação das misturas, foi fixo numa proporção aglomerante:areia (1:5,8) definido conforme o que é utilizado no mercado local. As argamassas no estado fresco foram avaliadas quanto à trabalhabilidade, densidade de massa fresca, e teor de ar incorporado. Em seguida, realizou-se a moldagem de seis corpos-de-prova (CP's) prismáticos de dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm para a análise no estado endurecido. Todas as misturas foram analisadas para 3 tempos de estabilização (0, 36h e 48h). Os resultados quanto ao estado fresco indicam que com o passar do tempo de estabilização a mistura vai perdendo trabalhabilidade. Outra característica observada foi que à medida que a densidade de massa aumenta há uma queda no teor incorporado. No estado endurecido obteve-se resultados de resistência para as amostras com 10% e 20% de MC com crescimento de 68,9% e 26,8%, respectivamente. Pode-se observar uma perspectiva de estudos para as argamassas com 10% de substituição das adições, que obtiveram melhores resultados.

Palavras chave: argamassa, estabilização, metacaulim, resíduo, tijolo

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil – UFCG, e-mail: mauricioigor88@gmail.com

² Professora Dra. Orientadora do Curso de Engenharia Civil – UFCG

RESUMO

PROPERTIES OF STABILIZED MORTAR CONTAINING METACAULIM AND CERAMIC BRICK WASTE

PAULINO, Igor Mauricio¹
AZERÊDO, Aline Figueiredo Nóbrega de²

ABSTRACT

With the constant growth and development of civil construction over the years, it was necessary to invest in new technologies to improve the construction process. Faced with this scenario, stabilized mortar appeared. However, as it is a recent technology and the lack of standardization of its characteristics, there is some suspicion regarding its properties. The present work aims to study the influence of ceramic brick (RTCM) and metakaolin (MC) residues on the properties of stabilized mortars for laying. For this, mixtures of mortars with partial replacement of Portland cement by 10 and 20% MC and 10 and 20% RTCM, by mass, were studied. The mix used to prepare the mixtures was fixed in an agglomerating proportion: sand (1: 5.8) defined according to what is used in the local market. Mortars in the fresh state were evaluated for workability, fresh mass density, and incorporated air content. Then, six prismatic specimens (CP's) of dimensions 4 cm x 4 cm x 16 cm were molded for analysis in the hardened state. All mixtures were analyzed for 3 stabilization times (0, 36h and 48h). The results regarding the fresh state indicate that with the stabilization time the mixture loses workability. Another characteristic observed was that as the mass density increases, there is a decrease in the incorporated content. In the hardened state, resistance results were obtained for the samples with 10% and 20% CM with growth of 68.9% and 26.8%, respectively. One can observe a perspective of studies for mortars with 10% replacement of additions, which obtained better results.

Keywords: mortar, stabilization, metakaolin, residue, brick

¹ Student of the Civil Engineering Course - UFCG, e-mail: mauricioigor88@gmail.com

² Professor Dr. Supervisor of Civil Engineering Course -. UFCG

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento do aditivo incorporador de ar nas argamassas.	20
Figura 2 - Consistência das argamassas	28
Figura 3 - Fluxograma de procedimento experimental.	34
Figura 4 - Processo de moagem do RTCM	35
Figura 5 – Metacaulim (MC).....	36
Figura 6 - Resíduo de tijolo cerâmico moído (RTCM)	36
Figura 7 - Aditivos: Incorporador de ar e retardador de pega	36
Figura 8 - Granulometria do agregado miúdo	38
Figura 9 - Curvas granulométricas à laser do cimento CP V	38
Figura 10 - Granulometria do metacaulim	39
Figura 11 - Difratoograma de Raios-X do metacaulim.	40
Figura 12 - difração de raios-x do RTCM	40
Figura 13 - Mistura da argamassa estabilizada com o misturador.	42
Figura 14 - Argamassa com película de água de 3 cm para estabilização.....	43
Figura 15 - Ensaio da mesa de consistência.	44
Figura 16 – Pesagem da amostra no ensaio de densidade de massa fresca.	44
Figura 17 - Corpos de provas moldados para os três tempos de estabilização.....	45
Figura 18 - Corpos de provas numerados e prontos para ir para cura de 28 dias.....	45
Figura 19 - Ensaio de Tração na flexão.	47
Figura 20 - Ensaio de Compressão axial	47
Figura 21 - Ensaio de capilaridade sendo executado com corpos de prova prismático.	47
Figura 22 - Peso da massa seca do corpo-de-prova prismático para determinação da densidade de massa endurecida (ou aparente).	48
Figura 23 - Curva de espalhamento versus Tempo de estabilização da argamassa com substituição parcial do cimento pelo MC e RTCM.	50
Figura 24 - Amostra com 20% de RTCM às 36 horas.	51
Figura 25 - Variação da densidade em massa fresca e teor de ar incorporado em função do teor de MC.	52
Figura 26 - Variação da densidade em massa fresca e teor de ar incorporado em função do teor de RTCM das argamassas	53
Figura 27 - Resistência à compressão das argamassas estabilizadas com MC e RTCM aos 28 dias.....	54
Figura 28 - Resistência à tração na flexão das argamassas estabilizadas com RTCM e MC aos 28 dias de cura.	55
Figura 29 - Densidade de massa endurecida das argamassas estabilizadas com RTCM e MC aos 28 dias de cura.	56
Figura 30 - Absorção por capilaridade das argamassas com MC e RTCM aos 28 dias de cura.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco	29
Tabela 2 - Propriedades físicas dos materiais de partida.....	37
Tabela 3 - Composição química por fluorescência de Raios-X (% em massa) do cimento, RTCM e MC.....	39
Tabela 4- Traço em massa da argamassa de referência.....	41
Tabela 6 - Dados das misturas das argamassas estudadas.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -Materiais utilizados	35
--------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BET - Brunauer, Emmett e Teller

CP-V - Cimento Portland

DRX - Difração de Raios-X

FRX - Fluorescência de Raios-X

MC - Metacaulim

RTCM - Resíduo de Tijolo Cerâmico

RT – Resíduo de Tijolo

REF - Referência

NBR - Norma Brasileira

NM - Norma Mercosul

UFMG - Universidade Federal de Campina Grande

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

LISTA DE SÍMBOLOS

μm - Micrometro

mm – Milímetros

g/cm^3 - Gramas por centímetro cúbico

CO_2 - Dióxido de Carbono

C_3S - Silicato tricálcico

C-S-H - Etringita

$\text{C}_a(\text{OH})_2$ - Portlandita

$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - Caulinita

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{2SiO}_3$ - Metacaulim

SiO_2 - Dióxido de silício

Al_2O_3 - Óxido de alumínio

Fe_2O_3 - Óxido de ferro

CaO – Óxido de cálcio

MgO – Óxido de Magnésio

K_2O – Óxido de Potássio

TiO_2 - Dióxido de titânio

SO_3 - Trióxido de enxofre

F - Feldspato

I - Ilita

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICATIVA.....	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
4.1. ARGAMASSA ESTABILIZADA	16
4.1.1. Influência dos materiais constituintes nas argamassas estabilizadas.....	19
4.2. ADIÇÕES MINERAIS EM ARGAMASSA.....	23
4.2.1. Resíduo cerâmico moído	24
4.2.2. Metacaulim	25
4.3. PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	27
4.3.1. Estado fresco.....	27
4.3.2. Estado endurecido.....	30
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
5.1. MATERIAIS.....	35
5.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	37
5.3. MÉTODOS	41
5.3.1. Preparação das amostras.....	41
5.3.2. Ensaios nas argamassas	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
6.1. ESTADO FRESCO.....	49
6.2. ESTADO ENDURECIDO.....	54
7. CONCLUSÕES	58
8. REFERÊNCIAS	60
APÊNDICES	65

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está em constante busca por soluções que para o aumento da produtividade nos processos construtivos sem que haja perda de qualidade. As argamassas impactam bastante na produtividade, gerando, elevado tempo de mão de obra. Deste modo, surgiu no mercado, para reversão de tal quadro o uso de argamassas industrializadas. Com o passar dos anos novas tecnologias foram surgindo e conseqüentemente aperfeiçoando e racionalizando o processo.

Para Neto (1999) essas argamassas conquistaram boa participação do mercado consumidor, uma vez que podem ser produzidas em larga escala, com materiais classificados e de qualidade, controle tecnológico e acompanhamento de assistência técnica. Esse avanço tecnológico trouxe para a construção civil a argamassa estabilizada que cada vez mais está ganhando espaço dentro das construções, tornando sua utilização cada vez mais frequente.

A argamassa estabilizada é uma argamassa dosada em central, que chega pronta para uso no canteiro de obras. Sua composição é basicamente cimento, areia e aditivos que possibilitam que ela seja trabalhável por até 72 horas (MATOS, 2013). Além dos aditivos, é necessária uma estabilização com uma película de água entre 2 e 3 cm cobrindo a argamassa ao final de cada dia de trabalho, que segundo Bellei et al. (2019) é indispensável para assegurar suas propriedades ao depender dos tempos de estabilização, impedindo então a perda de água para o ambiente.

O maior uso desse tipo de argamassa tem sido em revestimentos. Segundo Dachery (2015), existem apenas exigências aos revestimentos de forma geral, deixando dúvidas na real capacidade de uma argamassa poder ser utilizada até 72 horas, sem que suas características se percam. Porém, um conhecimento mais profundado sobre este tipo de argamassa ainda apresenta indefinições quanto ao seu desempenho, seja no estado endurecido como no seu estado fresco.

Ademais, a abordagem ambiental está cada vez mais presente e necessária dentro da indústria da construção civil. Na produção de cimento, por exemplo, possui alto impacto ambiental devido a liberação de dióxido de carbono (CO₂). Outro aspecto relevante é o desperdício de materiais durante a utilização de argamassas, que segundo Grohmann (1998), advém de todas as etapas do processo de construção civil, que são: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes, execução e uso e manutenção. Na argamassa

estabilizada, todos estes fatores são trabalhados de forma controlada, desde o processo de fabricação a aplicação.

Diante deste cenário, novos estudos têm surgido buscando melhorias das características dos produtos fornecidos ao mercado da construção com base na utilização de resíduos de diversos tipos (industriais, de construção e demolição; agrícolas etc.), com o intuito de melhorar as características dos produtos fornecidos ao mercado da construção civil. Para Raisdorfer (2015) as adições minerais pozolânicas vêm sendo testadas com o intuito de melhorar propriedades específicas do concreto e argamassas para uma determinada aplicação, como a redução da permeabilidade, ou simplesmente reduzir os custos de produção, desde que sua utilização seja tecnicamente viável. Dentre os diversos tipos de adições, o que tem se destacado é o metacaulim. Mas, muitos estudos tem mostrado também que outros materiais tem tido destaque como material pozolânico, como exemplo: resíduo de tijolo cerâmico moído, sílica ativa, cinza volante, entre outros.

Diante disso, ver-se uma prática que beneficia o meio ambiente, uma vez que esses novos estudos propõem a substituição de parte do cimento Portland cuja produção possui alto grau de poluição por outras alternativas, menos poluentes. Por outro lado, não há muitos estudos relacionados quanto as argamassas estabilizadas com esses tipos de adições em larga escala no mercado.

Uma forma encontrada foi a substituição parcial do cimento Portland nas produções de concretos e argamassas, que oferece vantagens econômicas, pois está se substituindo o clínquer (um produto nobre) por subprodutos, oriundos, na maioria dos casos, de resíduos agroindustriais (GOBBI, 2014).

Além disso, com a ampla utilização do cimento Portland em todo mundo a otimização de seu uso faz-se imprescindível, devido a seu alto fator de poluição. Nesse contexto, aliado ao fato das crescentes práticas sustentáveis que possibilitem a preservação do meio ambiente, as adições minerais têm se mostrado uma alternativa.

Dessa forma, este trabalho visa estudar o desempenho das argamassas estabilizadas com adições minerais de metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico, buscando analisar sua viabilidade através de ensaios normatizados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- Estudar a influência do resíduo de tijolo cerâmico e metacaulim nas propriedades de argamassas estabilizadas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar argamassas com diferentes teores de adição e tempos de estabilização.
- Avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas.

3. JUSTIFICATIVA

As argamassas, estão presentes em vários componentes do sistema construtivo da construção civil. Além disso possuem importância fundamental desde a impermeabilização até o conforto térmico e acústico da obra. Logo, percebe-se a necessidade de uma boa qualidade do material para que o sistema se comporte adequadamente.

A argamassa estabilizada vem provando ser uma alternativa construtiva que agrega em rapidez e agilidade, frente ao seu custo benefício. Seu uso tem aumentado em função do ganho de produtividade na obra, principalmente por manter sua trabalhabilidade por um período de até 72 horas. Porém ainda assim, há desperdício na obra quanto ao uso desse tipo de argamassa para revestimento. Ademais, vale ressaltar que é um material cuja influência está associada em uma grande proporção do orçamento da obra, logo o desperdício associado a uma argamassa de má qualidade torna-se onerosa

Logo, a utilização de materiais pozolânicos pode contribuir para um melhor desempenho dessas argamassas no estado fresco e endurecido. Por serem consideradas ainda recente no mercado, há poucos estudos sobre as argamassas estabilizadas contendo adições minerais.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

A inovação tecnológica tem assumido um papel importante dentro do setor da construção civil, dentro do sistema de mercado que instiga o ramo a estar sempre com inovações que impõe a unificação de fatores como qualidade, produtividade, redução de custos a seus novos produtos.

Diante disso, Jacoski et al (2014) relata que também o setor das argamassas constitui importante foco de estudos no âmbito da tecnologia dos materiais e processos, com vistas à promoção da inovação, constituindo-se em um dos principais produtos empregados no mercado da construção civil mundial, e que se encontra em alta nas pesquisas por processos e métodos inovadores.

Em meados dos anos 70, o estudo das argamassas ganhou certa notoriedade devido à queda no volume de concreto, o que provocou uma verdadeira crise no setor da Indústria da Construção Civil, tanto na Europa, Estados Unidos como também no Brasil (NETO et al, 1999). Logo, nota-se que com o passar dos anos a própria indústria se viu necessitada de respaldo técnico-científico para aprimorar-se.

Na indústria da construção civil, existe uma busca constante pelo aprimoramento dos métodos e materiais utilizados, visando o aumento da qualidade, produtividade e redução de custos (THOMÉ et al, 2019). Assim, a inovação cumpre importante papel enquanto estratégia de diferenciação em termos de mercado, se considerados os altos índices de competitividade que caracterizam os diferentes setores da construção civil (JACOSKI et al, 2014).

Portanto, pode-se destacar o surgimento das argamassas industrializadas. De acordo com Matos (2013), surgiram na década de 1950, com o intuito de racionalizar a construção. Argamassas previamente dosadas, necessitando apenas a adição de água. Porém, foi na década de 70 que surgiram as argamassas estabilizadas: argamassas que chegam à obra prontas para uso, capazes de serem armazenadas por até três dias, mantendo suas características inalteradas.

4.1. ARGAMASSA ESTABILIZADA

A argamassas dosadas em central começaram a ser observadas a partir da década de 1970, uma vez que o setor da construção civil enfrentava uma baixa, sendo então uma saída

para as concreteiras não ficarem paradas. Houve então testes com argamassas, com foco desde adições e aditivos quanto ao controle na produção da mesma (NETO et al, 1999). Porém devido a uma baixa no setor do concreto usinado, as pesquisas foram praticamente paralisadas pois não era a atividade fim do ramo.

Ainda de acordo com Neto (1999), só em meados do final da década de 1980, com a perspectiva de aceleração do desenvolvimento da indústria da construção civil, obras de médio e grande porte buscaram uma nova forma de se executar a produção de argamassas, que viesse se somar a argamassa, permitindo uma reabertura do mercado para a produção da argamassa dosada em central. Neto (1999) ainda relata que surgiram estudos que tiveram muita influência nas opiniões do setor. Assim, a argamassa de revestimento externo dosada em central, passou a ter uma grande aceitação da indústria da construção civil, pois conseguia atender às necessidades dos grandes construtores, proporcionando-lhes vantagens operacionais aliadas a segurança da técnica assistida.

Matos (2013) cita que existe uma grande semelhança entre as argamassas estabilizadas e as argamassas industrializadas ou preparadas em obra, sendo uma das poucas diferenças a ausência da cal, que normalmente é substituída por aditivos incorporadores de ar a fim de melhorar a trabalhabilidade e acabamento das misturas, essas melhorias nas demais argamassas eram feitas pela cal.

Assim, Neto et al (1999) pode definir argamassa estabilizada como uma argamassa úmida, dosada em central, misturada e transportada em caminhões betoneira, de forma semelhante aos concretos usinados e que se mantém trabalhável por até 72 horas, dependendo de sua composição. De acordo com Casali (2011) para retardar o tempo de pega e preservar as características da argamassa por um tempo pré-determinado, são introduzidos aditivos estabilizadores de hidratação, além de incorporadores de ar.

Hartmann (2011) acrescenta que os aditivos estabilizadores atuam principalmente no controle de hidratação do silicato tricálcico (C_3S), promovendo moderada manutenção de abatimento e retardo de pega. Porém, segundo os autores, quando utilizados em altos teores, o atraso da pega torna-se imprevisível, podendo ocorrer a inibição muito prolongada da hidratação ou pega instantânea devido a uma ativação excessiva do C_3S .

Melo (2019), em seus estudos sobre a influência da cura úmida observou que a variação do teor de aditivo estabilizador de hidratação nas argamassas estabilizadas, pode interferir na necessidade ou não de um processo de cura.

Levando em consideração a grande gama de novas pesquisas na área, a argamassa estabilizada vem ganhando espaço nos últimos anos, tanto no Brasil como no mundo, devido às diversas vantagens que essas misturas proporcionam. Matos (2013) cita algumas das vantagens de se utilizar argamassas estabilizadas:

- Aumento do rendimento: não há perdas de horas trabalhadas para a confecção da argamassa, tendo em vista que esta já é entregue pronta para uso;
- Redução de perdas: a argamassa pode ser armazenada e utilizada por mais de um dia, evitando que a sobra seja descartada;
- Limpeza da obra: há uma redução dos resíduos provenientes da confecção de argamassas em obra;
- Regularidade do traço da argamassa: por ser dosada em central, com proporcionalidade dos materiais sendo feito em massa, é evidente o maior controle na sua produção;
- A responsabilidade da dosagem da argamassa é dividida com a sua fornecedora;
- Melhora a logística no canteiro de obra: a argamassa pode ser armazenada e distribuída próximo aos locais de utilização;
- Reduz a demanda de mão de obra; e
- Maior precisão no custo da argamassa, devido ao maior controle na sua produção.

Entretanto, o autor ainda apresenta algumas desvantagens quanto ao uso deste tipo de argamassa quando comparada com aquelas de cal e cimento Portland (preparadas na obra ou industrializadas), tais como:

- Necessidade de um planejamento preciso da quantidade diária de argamassa a ser usada, evitando a paralisação da produção por falta da argamassa; e
- Em dias muito úmidos, as argamassas podem demorar mais do que o desejado para adquirir rigidez: o endurecimento da argamassa depende da perda da água de amassamento, seja pela absorção do substrato ou por evaporação (sendo está reduzida quando a umidade é elevada).

4.1.1. Influência dos materiais constituintes nas argamassas estabilizadas.

As argamassas estabilizadas, são comumente compostas de cimento, areia, água, aditivos e podendo ter ou não adições. Esses aditivos contribuem de forma a proporcionar a argamassa melhorias em suas trabalhabilidades com intuito de retardarem sua pega e preservar a trabalhabilidade ao longo das datas de estabilização. Com o avanço nas pesquisas, vários trabalhos como Alves (2002), Turra (2016), Silva (2019) e Ferrari (2017) tem mostrado que o uso de aditivos e adições mostraram um grande benefício nas propriedades das argamassas, o que fez com que estes materiais fossem cada vez mais aplicados na construção civil. As proporções desses componentes são determinantes para as propriedades das argamassas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Os aditivos são compostos adicionados nas misturas com o intuito de melhoramento de algumas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Sua quantidade, que em geral é pequena, expressa em porcentagem do aglomerante. Os principais aditivos para argamassas, conforme a NBR 13529 (ABNT, 2013), são:

- Retentor de água: capaz de reduzir a evaporação e exsudação de água da argamassa fresca e conferir a capacidade de retenção de água em relação à sucção da base;
- Incorporador de ar: forma microbolhas de ar distribuídas na argamassa, capazes de melhorar a sua trabalhabilidade;
- Retardador de pega: retarda a hidratação do cimento, proporcionando um maior tempo de utilização;
- Aumentador de aderência: capaz de proporcionar aderência química ao substrato; e
- Hidrofugante: reduz a absorção de água por capilaridade.

Martin (2005) apud Koffs (2018) cita que quando aplicados de maneira correta os aditivos podem modificar ou melhorar:

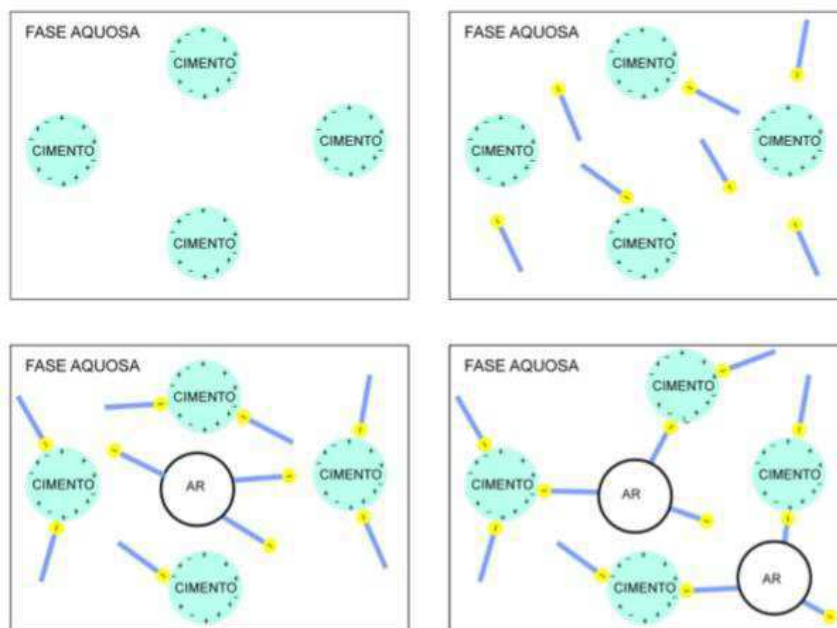
- a reologia no estado fresco;
- a pega e o endurecimento do cimento;

- a incorporação de ar;
- a durabilidade; e
- a resistência mecânica.

Os aditivos incorporadores de ar são materiais orgânicos, normalmente apresentados na forma de solução, podendo ou não estar presentes nas argamassas estabilizadas. Quando adicionados às argamassas, produzem uma quantidade controlada de bolhas microscópicas de ar, uniformemente dispersas (ALVES, 2002). Assim, nas argamassas estabilizadas ocorre essa substituição da cal hidratada pelos incorporadores de ar, uma vez que algumas vantagens decorrentes da retenção da água da cal na argamassa, coincidem com as consequências do uso do aditivo, como: melhor trabalhabilidade e absorção dos acomodamentos iniciais das estruturas, em função da maior flexibilidade das ligações, como relata Turra (2016).

Essas substâncias, segundo Turra (2016), são predominantemente tensoativos aniônicos, os quais, quando adicionados às pastas de cimento, tendem a se adsorver nas partículas sólidas da pasta, através da sua parte polar, com a parte apolar voltada para a fase aquosa, dando um caráter hidrofóbico às partículas de cimento. As bolhas de ar são formadas pelos tensoativos que não foram adsorvidos e estão livres na fase aquosa, como mostra a figura 1 a seguir.

Figura 1 - Funcionamento do aditivo incorporador de ar nas argamassas.



Fonte: Alves (2002)

Assim, Alves (2002) ainda acrescenta quatro razões para, intencionalmente, produzir ar nas argamassas:

- Plasticidade: A presença do ar incorporado proporciona um ganho de plasticidade e um aumento na estruturação do sistema, propriedades necessárias para que as argamassas de revestimento se tornem aplicáveis em superfícies verticais e horizontais;
- Rendimento: Consegue-se um maior volume de argamassa para uma mesma quantidade de material, devido à diminuição da densidade da mesma;
- Fissuração: A presença do ar incorporado permite uma diminuição na quantidade de finos, o que possibilita a colocação de menos água na mistura para uma mesma condição de aplicação. Isso reduz a retração plástica e a retração por secagem, diminuindo a tendência à fissuração.

No estado fresco, os incorporadores de ar podem melhorar a reologia de misturas com baixo consumo de cimento ou em traços que contenham agregados com granulometria pobre em finos. Nesses casos, este aditivo melhora a trabalhabilidade, aumenta a coesão e reduz a exsudação (HARTMANN et al., 2011).

Entretanto, Carasek (2017) afirma que, apesar de melhorar as características do estado fresco, a presença de incorporador de ar geralmente reduz a resistência mecânica e a aderência da argamassa ao substrato (em seu valor e extensão), já que a presença de bolhas aumenta o teor de vazios e provoca uma redução de superfície de contato na interface junta/unidade. Logo, é evidente a necessidade de uma cuidadosa dosagem do aditivo para não prejudicar o desempenho das argamassas na alvenaria.

Para Prudêncio (2007); Mehta e Monteiro (2008); Hartmann (2011) apud Matos (2013), os aditivos retardadores conceituam-se da seguinte forma:

“Os aditivos retardadores têm a função de retardar a hidratação inicial dos grãos de cimento, atuando na redução da dissolução dos constituintes anidros e da cristalização dos compostos hidratados. Entretanto, após a pega, não interferem no processo de endurecimento. Devido a sua composição (ácidos e açúcares), tendem a plastificar a mistura. O aumento da superfície de cimento em contato com a água provoca melhor hidratação dos grãos, resultando em maiores volumes de cristais e densidade e, conseqüentemente, um aumento da resistência mecânica em idades superiores, menor permeabilidade e fissuração.”

Este tipo de aditivo é indicado para concretagens em climas quentes, além de ser útil para obtenção de acabamentos mais sofisticados. “A ação de retardo é obtida pela adição de

açúcar, derivados de carboidratos, sais solúveis de zinco, boratos solúveis e outros.” (MATOS, 2013).

Ferrari (2017) em seus estudos sobre argamassas estabilizadas com utilização de aditivo retardador de pega relata que a presença de aditivo plastificante retardador de pega influenciou no índice de consistência, tornando a argamassa mais trabalhável por mais tempo. Ademais, ainda chegou a concluir que o aditivo foi responsável por melhoria nos índices de retenção de água e que quanto mais aditivo plastificante retardador de pega nas argamassas, maior o tempo de pega.

Silva et al (2019) analisou as propriedades das argamassas estabilizadas utilizando o retardador de pega e estudou algumas comparações das argamassas com lâmina d'água e sem a presença da lâmina. O autor relatou ainda que o desempenho das argamassas no estado fresco é diretamente proporcional a quantidade de aditivo estabilizador utilizado. Observou que foi necessário um consumo mínimo de 1,2% de aditivo estabilizador para se obter tempos de estabilização de 72 horas para os traços estudados.

Bauer et al (2015) explicam a relação entre a película de água no armazenamento da argamassa estabilizada e o aditivo estabilizador de hidratação, bem como o seu mecanismo de ação, na citação a seguir:

Os aditivos estabilizadores inibem a reação do cimento enquanto a argamassa estiver saturada de água (no container devem ficar com um filme de água sobre a superfície). O aditivo estabilizador atua principalmente no controle de hidratação do cimento Portland, porém seu uso deve ser controlado, visto que, em altos teores pode acarretar em um atraso de pega imprevisível.

De acordo com Benini (2005) o uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento aparece como uma alternativa aos métodos de tratamento e disposição do concreto devolvido às indústrias e reaproveitamento da água de lavagem dos caminhões betoneira. Com isso, possibilita combater um dos graves problemas enfrentados pela indústria produtora de concreto, que é o impacto ambiental que a própria indústria causa com a geração de grande quantidade de resíduos.

4.2. ADIÇÕES MINERAIS EM ARGAMASSA

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), o termo adições se refere a materiais inorgânicos ou industriais adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades, e dentre eles podem estar: pó calcário, saibro, materiais pozolânicos, entre outros.

Nos dias de hoje, o termo pozolana abrange uma quantidade imensa de materiais, no qual variam tanto de sua composição química quanto mineralógica, isso acaba dificultando muito em uma classificação precisa destas adições (KOFFS, 2018).

A classificação normalmente utilizada se dá pela origem do material, divididas em pozolanas naturais e artificiais. As naturais, não requerem transformações químicas ou mineralógicas significativas quando são utilizadas, estas podem ser tanto rochas vulcânicas quanto rochas de origem orgânica, já as artificiais, são materiais que originalmente não possuíam propriedades pozolânicas, as quais são adquiridas após sofrerem transformações químicas e/ou em sua estrutura, dentre elas estão as cinzas volantes e cinza de casca de arroz (SANTAMARÍA apud KOFFS, 2018).

Koffs (2018) complementa ainda que, as pozolanas artificiais são produzidas através da calcinação de materiais com base silicosa que são levados a temperatura de cozedura, esses materiais podem ser tanto naturais quanto resíduos ou subprodutos industriais. Diferente as pozolanas naturais nos dias de hoje, são amplamente utilizadas na produção de cimento sem substituição parcial ao clínquer ou na confecção de concretos e argamassas, onde são adicionadas em porcentagem ao cimento.

Diante das várias pozolanas artificiais existentes, as mais comumente utilizadas são as argilas calcinadas, as cinzas volantes e as terras diatomíticas calcinadas. O metacaulim, dentre essas, se destaca dentre essas por seu alto teor de atividade pozolânica, segundo Koffs (2018), assim podendo obter bons resultados de melhoramento nas argamassas e concretos.

Além disso, a existência e incorporação de resíduos que possuem a capacidade pozolânica, como adições minerais em argamassas e concretos, possibilita não só uma economia no insumo de cimentos, como também estão positivamente relacionadas ao campo ambiental. Como exemplo tem-se o resíduo cerâmico que após seu beneficiamento possui a capacidade pozolânica.

4.2.1. Resíduo cerâmico moído

A indústria da construção civil é um dos maiores consumidores de componentes cerâmicos. Esses componentes estão presentes em diversas etapas da construção, como: telhas, lajotas, tijolos, placas de revestimento entre outros. Dessa forma, diante de sua maciça utilização a quantidade de resíduos gerados também se faz de forma considerável.

Diante deste cenário, têm-se buscado cada vez mais formas de reutilização de diversos tipos de resíduos em componentes da construção civil, reduzindo o impacto gerado ao meio ambiente com o descarte de forma errada destes resíduos.

A indústria cerâmica vermelha na região do Nordeste do Brasil é uma das principais atividades industriais, com poucas contribuições para o crescimento de forma sustentável, ainda que alguns pesquisadores sugiram que seus resíduos, quando moídos, possam promover melhorias em algumas propriedades de misturas de cimento contendo esta adição (VIEIRA, 2005).

Segundo Matias et al (2014) os resíduos de cerâmica podem eventualmente desempenhar a função de pozolana, em granulometria fina, se a sílica e alumina existentes no material reagirem com o hidróxido de cálcio da cal. Em granulometria grosseira, os resíduos poderão desempenhar a função de agregado com características específicas. A autora ainda acrescenta que caso se recorra à utilização dos resíduos em granulometria fina, haverá uma tendência para a redução no consumo de ligantes e de calcários. Em seus estudos, sobre argamassas de substituição com resíduos de tijolo cerâmico, averiguou que através dessa análise de EDS dos elementos químicos presentes, verificou a existência de uma porção considerável de Silício e Alumínio, o que pode indicar a forte presença de Sílica e Alumina nas amostras. Este fator pode levar a crer que o material tem características pozolânicas, quando aplicado em granulometria fina.

Lopes (2013) avaliou o efeito da adição de resíduo de tijolo particulado em argamassas que se mostrou capaz de agir como material pozolânico, sendo que uma adição de até 40% pôde ser realizada, sem que as propriedades físicas e mecânicas fossem prejudicadas. Ainda chegou

a concluir que, a granulometria mostrou-se importante na pozolanicidade do resíduo, sendo mais eficiente em valores menores do que 75µm.

Vieira (2005) reitera que, com a substituição de teores de 20% e 40% houve uma redução na resistência à compressão simples, no entanto, o autor afirma que esta redução não foi proporcional ao teor de substituição utilizado, uma vez que, amostras contendo 40% de substituição retiveram 89% da resistência das amostras de referência. A autora estudou a adição de resíduos em argamassas e verificou que quanto maior o teor de substituição do cimento pelo RC (resíduo cerâmico), menor a consistência das argamassas. Ainda afirma que esta tendência pode ser explicada pelo fato do RC utilizado ter superfície específica (igual a 6029 cm²/g) aproximadamente uma vez e meia maior que a do cimento, o que proporciona uma maior demanda de água para envolver os seus grãos quando comparados com as argamassas sem substituição.

4.2.2. Metacaulim

O metacaulim é um material pozolânico amorfo (de estrutura cristalina desordenada) obtido através da calcinação do caulim por meio da ativação térmica entre 600°C a 850°C e moagem de argilas cauliníticas e caulins (MEDINA, 2011). Essas matérias-primas são compostas predominantemente por silicato de alumínio hidratado ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) que perdem os íons hidroxila de sua estrutura cristalina com a calcinação, transformando-se em metacaulinita ($Al_2Si_2O_7$), composto constituído essencialmente por partículas lamelares com estrutura predominantemente não cristalinas e com elevada finura (CUNHA et al., 2010).

Koffs (2018) acrescenta que a caulinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ não possui propriedades pozolânicas, porém quando levada a sua temperatura de calcinação, esta reação faz com que ocorra a perda dos íons de hidroxila de sua estrutura cristalina, resultando no metacaulim ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_3$) um material com atividade pozolânica.

Constituído de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) na fase amorfa, o metacaulim é capaz de reagir com a água e o hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ gerado durante a hidratação do cimento Portland produzindo silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Essa interação com o cimento Portland em pastas, argamassas e concretos proporciona melhora nas características de

durabilidade e desempenho mecânico no estado endurecido desses compósitos cimentícios. (MEDINA, 2011; MOTA, 2015).

No estado fresco Cruz (2019) observou que a presença de metacaulim propiciou uma maior relação de água/material seco nas argamassas estabilizadas devido ao maior teor de finos que necessitou de um maior quantitativo de água para a molhagem de suas partículas.

A quantidade de água na argamassa influencia diretamente na trabalhabilidade. Mota (2015), afirma que é umas das propriedades mais importantes. Essa propriedade adequada estabelece desde bom desempenho na produtividade, como indica propriedades do estado endurecido. Ainda relata que as estruturas lamelares do MC têm forte ligação ao longo das camadas, todavia, as ligações entre camadas são brandas, gerando facilidade no escorregamento entre as camadas. Quanto aos aditivos usados nessas argamassas. Benini (2015) diz que o aditivo estabilizador de hidratação atua no controle de hidratação do C3S. No entanto, Bauer (2015) acrescenta que seu uso deve ser controlado, devido à possibilidade de atrasos imprevisíveis na pega.

Oliveira (2017) relata redução da relação água/materiais secos conforme o aumento do ar incorporado. Este fato permite que se adicione menos água na mistura para uma mesma condição de aplicação como observado por Oliveira (2017). Para Romano (2013), a reação de hidratação do cimento não é influenciada pelo aditivo incorporador de ar. Por isso, as argamassas estabilizadas fazem uso dos aditivos incorporadores de ar, com o intuito de melhorar a trabalhabilidade, uma vez que essas argamassas apresentam um menor teor de finos que as argamassas mistas em razão de não utilizarem cal em sua elaboração, como aponta Santana (2018). Como sua ação está relacionada a fenômenos de adsorção nas partículas, a presença do metacaulim no sistema irá alterar sua ação.

Mota (2016) avaliou a durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria. Observa-se no estudo, através de ensaios de resistência mecânica, módulo de elasticidade, velocidade de propagação da onda ultrassônica, absorção por imersão e ensaios acelerados de carbonatação e cloretos, que o metacaulim contribui para a durabilidade da argamassa, mitigando substancialmente a ação de agentes deletérios.

Laurentino (2019) estudou argamassa estabilizada para assentamento com adição de metacaulim. Em seu trabalho foi avaliado a substituição parcial de cimento por 10% e 20% de metacaulim, onde constatou-se que houve um aumento na densidade de massa no estado fresco

e endurecido e a diminuição do teor de ar incorporado, mostrando que o metacaulim proporcionou uma melhoria no arranjo das partículas, diminuindo assim a quantidade de vazios. Houve ganho de resistência a compressão, superando em até 55% a de referência, sendo a amostra com 10% que preservou essa propriedade nos tempos de estabilização, ao contrário da de 20%.

Porém, mesmo se tratando de um produto com bastante potencial no mercado da construção civil, existindo diversos estudos que abordam o uso de metacaulim como adição mineral, a aplicação em argamassas estabilizadas ainda é escassa. Assim, buscando a otimização de sua produção agregando a redução dos custos e a sustentabilidade, se faz necessário avaliar a viabilidade da utilização desses resíduos/materiais pozolânicos nas argamassas estabilizadas.

4.3. PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

As argamassas possuem características que de antemão estão relacionadas com o uso coeso de materiais, traço utilizado, mistura, transporte para determinado fim. Além disso, se busca uma mistura que atenda a cada finalidade com propriedades necessárias à essa aplicação. Logo, podem ser diferenciadas por seu estado fresco e endurecido.

4.3.1. Estado fresco

Visando um bom desempenho e produtividade da argamassa de revestimento algumas características e comportamentos devem ser observados para podermos classificar o material com trabalhável ou não, são eles: fácil homogeneização dos constituintes da argamassa, características favoráveis à aplicação no substrato, fácil espalhamento do material no substrato sem trincas e desprendimento da argamassa e sarrafeamento, permitindo seu corte sem movimento de camadas (ALVES, 2002).

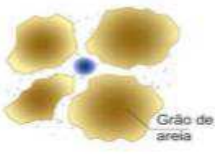
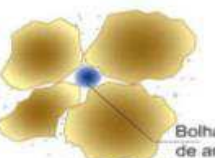
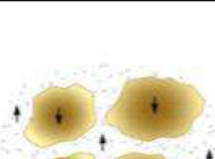
- Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea (CARASEK, 2018). Ademais, Sabbatini (1998) ainda acrescenta que uma argamassa com boa trabalhabilidade é aquela que:

- Se distribui facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias;
- Não segrega ao ser transportada;
- Não endurece em contato com o componente de sucção elevada e permanece plástica por tempo suficiente para que os componentes sejam ajustados facilmente no nível e no prumo.

Carasek (2017) propõe a classificação das argamassas, segundo sua consistência, conforme a Figura 2:

Figura 2 - Consistência das argamassas

CONSISTÊNCIA	Argamassa Seca	A pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe o atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera.	
	Argamassa Plástica	Uma fina camada de pasta aglomerante "molha" a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida.	
	Argamassa Fluida	As partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade (segregação). Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.	

Fonte: Carasek (2017)

O método para determinação da densidade da argamassa é descrito na NBR 13278 (2005) e consiste na razão entre a massa da argamassa de assentamento ou revestimento pelo

volume ocupado. Segundo Lima (2018), através dos resultados deste ensaio, pode-se revelar que o teor de ar influencia tanto a trabalhabilidade como também nas resistências mecânicas das argamassas. Além disso, o autor observa que o teor de ar incorporado contribui para o impedimento da passagem de água para o interior da argamassa pelo fenômeno da capilaridade, pois as bolhas de ar incorporado podem interromper parte dos poros capilares das argamassas.

Carasek (2017) relata que a massa específica de uma argamassa varia com o teor de ar incorporado e com a massa específica dos materiais constituintes (principalmente dos agregados, pois estes ocupam o maior volume), sendo um indicativo de compacidade da mesma. A autora que afirma que na aplicação manual de argamassa para revestimentos, quanto mais leve a mistura mais trabalhável será a mesma ao longo prazo, pois reduz o esforço do operário para a sua aplicação, acarretando em um aumento de produtividade ao final da jornada de trabalho. Machado (2018) ainda propõe um critério para classificação da argamassa quanto à densidade no estado fresco, apresentado no Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco

Argamassa	Densidade - d [g/cm³]
Leve	$< 1,40$
Normal	$2,30 \leq d < 1,40$
Pesada	$> 2,30$

Fonte: Machado (2018)

O teor de ar incorporado é a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa, que segundo Dachery (2015) pode se classificar como bolhas de ar incorporadas à mistura, sem ser as decorrentes da mistura ou da evaporação da água. Alves (2002) ainda complementa que o teor de ar incorporado tem importância significativa no estado fresco e no estado endurecido da argamassa.

E, de acordo com Prudêncio *et al* (2003), para argamassas convencionais, o teor de ar incorporado menor do que 10% não influencia negativamente nas propriedades da argamassa de assentamento, na resistência à compressão e na extensão de aderência entre a junta de argamassa e o bloco.

Benini (2005) relata que o aditivo estabilizador de hidratação atua no controle de hidratação do C3S. No entanto, Bauer (2015) acrescenta que seu uso deve ser controlado, devido à possibilidade de atrasos imprevisíveis na pega. Melo (2019), em seus estudos sobre a

influência da cura úmida observou que a variação do teor de aditivo estabilizador de hidratação nas argamassas estabilizadas, pode interferir na necessidade ou não de um processo de cura.

Oliveira (2017) relata redução da relação água/materiais secos conforme o aumento do ar incorporado. Este fato permite que se adicione menos água na mistura para uma mesma condição de aplicação como observado por Oliveira (2017). Para Romano (2013), a reação de hidratação do cimento não é influenciada pelo aditivo incorporador de ar. Por isso, as argamassas estabilizadas fazem uso dos aditivos incorporadores de ar, com o intuito de melhorar a trabalhabilidade, uma vez que essas argamassas apresentam um menor teor de finos que as argamassas mistas em razão de não utilizarem cal em sua elaboração, como aponta Santana (2018). Como sua ação está relacionada a fenômenos de adsorção nas partículas, a presença do metacaulim no sistema irá alterar sua ação.

A respeito da trabalhabilidade, Mota (2015), afirma que é umas das propriedades mais importantes. Essa propriedade estabelece desde bom desempenho na produtividade, como indica melhoria nas propriedades do estado endurecido. O autor ainda relata que as estruturas lamelares do MC tem forte ligação ao longo das camadas, todavia, as ligações entre camadas são brandas, gerando facilidade no escorregamento entre as camadas.

4.3.2. Estado endurecido

Segundo Azerêdo (2012) as propriedades das argamassas no estado endurecido estão relacionadas diretamente com seu desempenho já depois de aplicadas, tais como, resistir aos esforços e deformações ao qual estão sujeitas, assim como também resistir às intempéries. As principais características estudadas no estado endurecido são: resistência à compressão, à flexão, de aderência, densidade de massa endurecida, absorção de água, módulo de deformação.

A autora ainda acrescenta que essas características estão diretamente relacionadas com o tipo de aglomerante e proporção do mesmo como também pelo tipo de agregado miúdo e sua granulometria, e pela relação água/aglomerante.

- Resistência mecânica

A resistência mecânica é a capacidade da argamassa endurecida em resistir a esforços de tração, compressão e cisalhamento. Esforços de abrasão superficial, cargas de impacto e movimentos de contração e expansão dos revestimentos por efeitos de umidade, são exemplos destas solicitações. É a propriedade que o revestimento possui de absorver deformações intrínsecas (do próprio revestimento) ou extrínsecas (da base) sem sofrer ruptura, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder aderência (ABCP, 2002).

A resistência se dá principalmente pela quantidade de pasta, sendo esta por sua vez influenciada pela quantidade de aglomerante da mistura. O cimento, como aglomerante mais utilizado, tem sua relação com a água como determinante para a resistência, sendo que quanto maior a relação água/cimento, menor será a resistência (BAÍÁ *et al*, 2008).

Araújo (2017) em seus estudos com argamassas com substituição parcial por resíduo de tijolo observou que referente as propriedades mecânicas de argamassas com RCV (resíduo cerâmico vermelho) apresentaram-se equivalentes à mistura de referência para os traços com 20% e 30% de substituição e melhorias significantes com 10% de substituição do cimento Portland por RCV.

Antoniazzi *et al* (2019) verificou que o uso do AEH (Aditivos Estabilizador de Hidratação), quando em teores moderados, elevou a resistência à tração das pastas, porém, quando empregado em altos teores, acabou diminuindo tanto a resistência à tração quanto à compressão aos 28 dias. Já o emprego do AIA (Aditivo Incorporador de Ar) demonstrou reduzir a resistência à compressão das pastas, porém, nos teores empregados na pesquisa, esta redução não foi significativa.

- Densidade de massa aparente

Esta propriedade pode ser definida como a relação entre a massa e o volume da argamassa no seu estado endurecido. É um indicativo da compactidade, que vai resultar da proporção de agregado em relação ao aglomerante e também da distribuição granulométrica da mistura. Pode determinar indiretamente o volume de vazios incorporados por aditivos e a

quantidade água que foi perdida durante o processo de evaporação (NAKAKURA, 2004). O ensaio segue os critérios da norma NBR 13280 (2005).

Araújo (2017) analisou as propriedades de densidade de massa de suas misturas e verificou que a densidade de massa diminui como aumento do teor de substituição do cimento Portland pelo RCV. Quanto ao teor de ar incorporado observou que quanto menor a densidade da argamassa maior será o teor de ar incorporado.

Silva et al (2019), quanto a Densidade de massa, observou em sua pesquisa sobre as propriedades de argamassas estabilizadas que todas as misturas caracterizam-se como argamassas normais, uma vez que apresentam densidades superiores a $1,40 \text{ g/cm}^3$ e inferiores a $2,30 \text{ g/cm}^3$, podendo ser utilizadas em aplicações convencionais, como em revestimentos.

- Absorção de água por capilaridade

Sabe-se que a capilaridade está relacionada diretamente com a porosidade da argamassa. Segundo Azerêdo (2012) a porosidade é definida como o volume total de espaços abertos dentro da argamassa, que incluem poros e fissuras. Bauer (2005) afirmam que esta propriedade está intimamente ligada com outras propriedades do revestimento de argamassa, como a densidade de massa no estado endurecido, o teor de vazios e o teor de ar incorporado, assim como também pode ser influenciada pelo traço: argamassas com traços mais pobres em cimento apresentam maior absorção por capilaridade. Essa propriedade influencia diretamente nas resistências mecânicas.

Araújo (2017) observou um aumento linear da propriedade com o aumento do teor de substituição. Além disso, observou-se que a mistura com 10% de substituição apresentou resultados semelhantes ao de referência.

Roche (2019) analisou as propriedades de argamassas estabilizadas para revestimentos em diferentes tempos ao longo do seu período de estabilização e verificou que quanto à absorção de água por capilaridade as Argamassas 1 e 2 tiveram uma absorção maior que a Argamassa 3 para todas as idades estudadas, com coeficientes médios de capilaridade, respectivamente, de $3,17 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ (desconsiderando 36h) e $2,73 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, enquanto que para Argamassa 3 foi de $1,60 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. Apresentando para as argamassas 1 e 2 valores de coeficiente de capilaridade como inadequado para revestimentos externos (>C3). Este ensaio

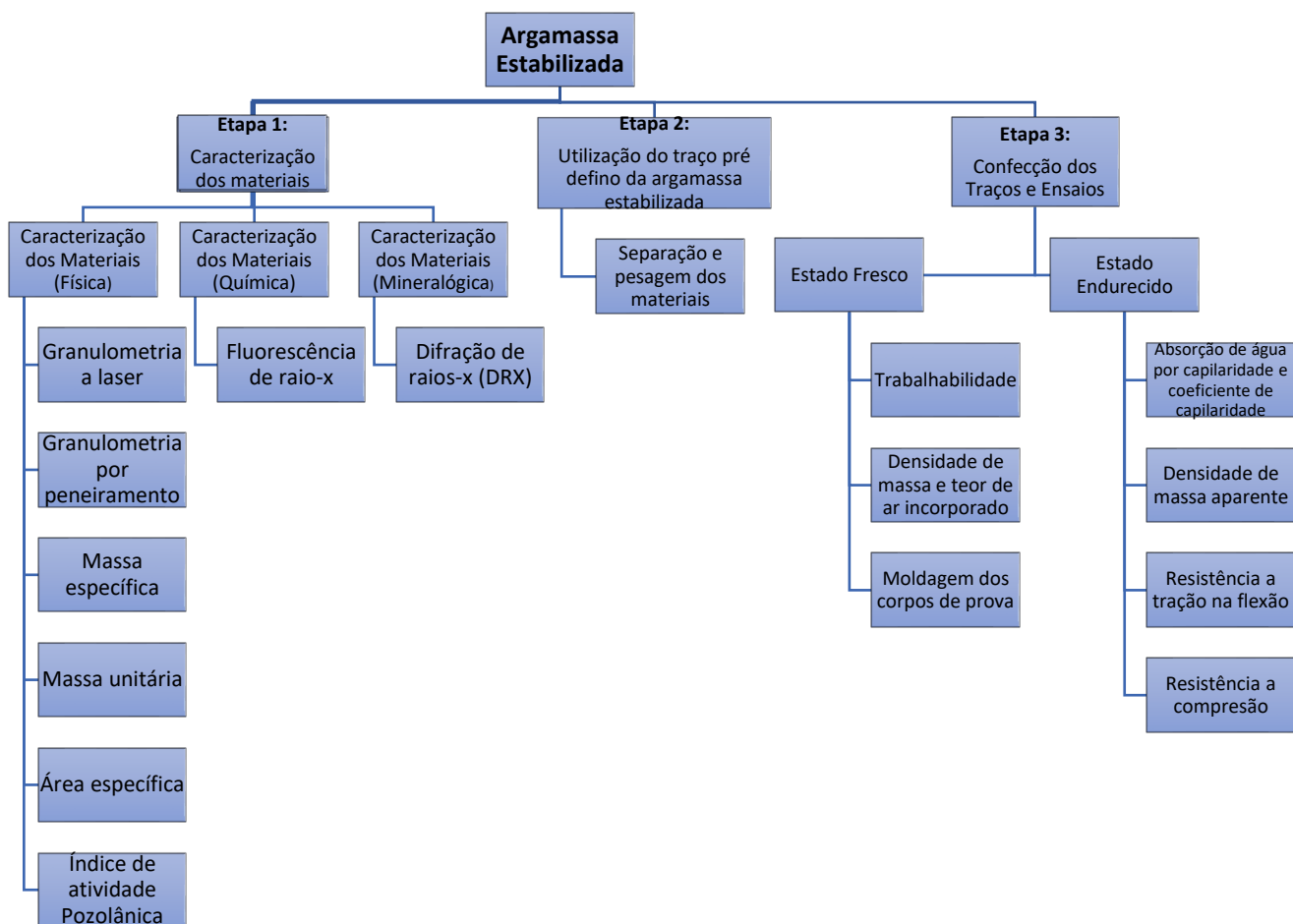
tem como objetivo medir a absorção de água das argamassas pelos poros capilares. Será realizado conforme descrito na norma NBR 15259 (ABNT, 2005).

Diante da revisão explorada aqui observa-se que são muito escassos os estudos de argamassas estabilizadas, principalmente no que diz respeito ao uso de adições pozolânicas nesse tipo de argamassa. Dessa forma, este trabalho pretende investigar as propriedades dessas misturas com a necessidade de avaliar seu desempenho ao longo da estabilização gerada pelos aditivos e as alterações causadas pelas adições nessas argamassas no estado fresco e endurecido.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para obtenção dos objetivos definidos neste trabalho delimitaram-se três etapas de estudos experimentais que seguem conforme a Figura 3.

Figura 3 -Fluxograma de procedimento experimental.



5.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados no trabalho seguem descritos na Quadro 1.

MATERIAL	CARACTERÍSTICAS
CIMENTO	O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CP V ARI.
AGREGADO MIÚDO	O agregado miúdo utilizado foi uma areia eólica.
ÁGUA	A água utilizada foi proveniente da rede pública de abastecimento local.
METACAU LIM (MC)	Adição mineral da marca BBM Minérios, Figura 5.
RESÍDUO CERÂMICO DE TIJOLO MOÍDO (RCTM)	Material obtido após um processo de beneficiamento em moinho de bolas.

Quadro 1 -Materiais utilizados

a) Obtenção do RCTM

Quanto ao resíduo de tijolo de cerâmica moído, Figura 6, passou por um processo de moagem através de um moinho de bolas, e foi obtido através do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME) da UFPB. Após a coleta do resíduo de tijolo, este foi preparado para ser usado nas argamassas. O preparo incluiu a quebra desse resíduo em pequenos pedaços e depois colocá-lo esses pedaços para serem moídos em um moinho de bola até virar um pó bem fino, Figura 4. Todos os materiais foram armazenados em sacos plásticos para preservá-los.

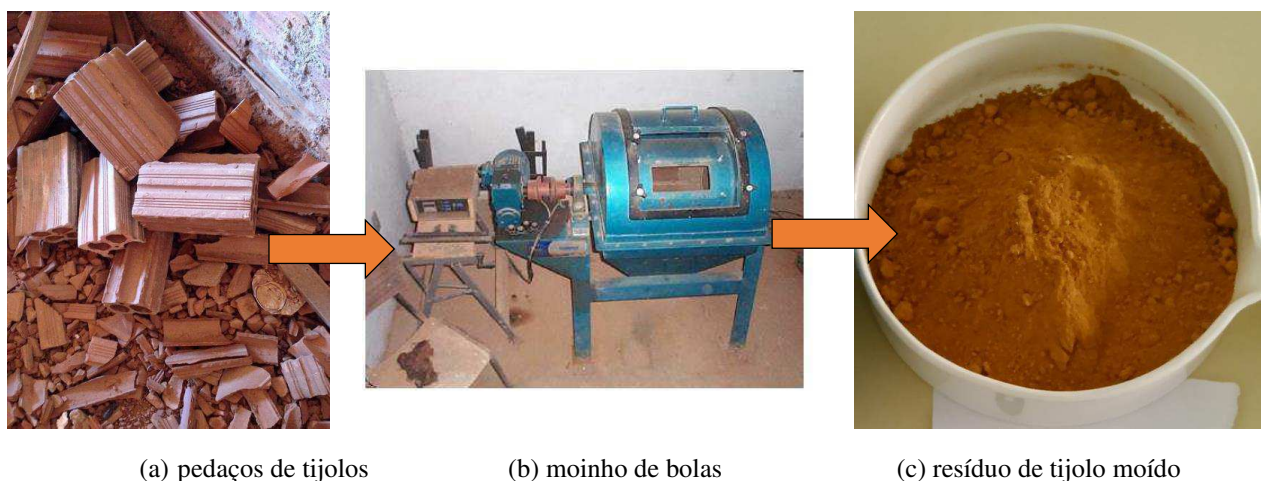


Figura 4 - Processo de moagem do RCTM

Fonte: Filho, J. S. A (2018)



Figura 5 – Metacaulim (MC)



Figura 6 - Resíduo de tijolo cerâmico moído (RTCM)

b) Aditivos

Os aditivos utilizados foram dois tipos: um plastificante incorporador de ar e um plastificante retardador de pega como mostrados na Figura 7.

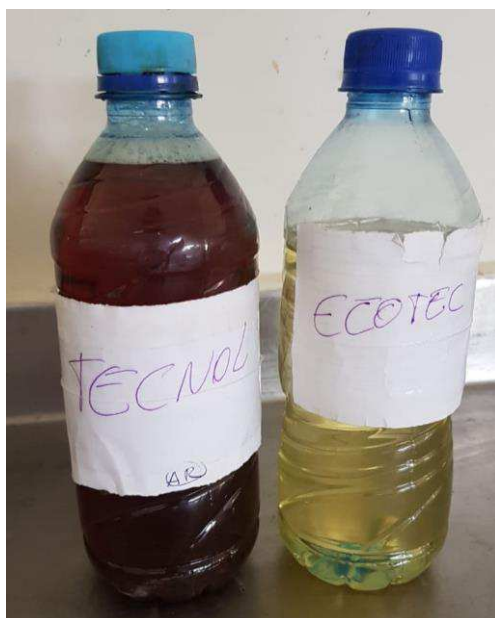


Figura 7 - Aditivos: Incorporador de ar e retardador de pega

De acordo com o fabricante, GCP Applied Technologies, o aditivo plastificante incorporador de ar, TEC-MIX, atende a norma NBR 11768 (ANBT, 2011), sendo do Tipo IA. Apresenta aspecto líquido e coloração castanho avermelhado. E sua massa específica está entre

0,990 – 1,030 g/cm³. Já o plastificante retardador de pega ou inibidor de hidratação, ECO-TEC, do mesmo fabricante, apresenta aspecto líquido e coloração levemente amarelado. E sua massa específica está entre 1,160 – 1,200 g/cm³. Aditivos, metacaulim, cimento e areia foram produtos doados pela empresa Supermix.

5.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Para os materiais MC, RCTM e areia a caracterização física foi realizada previamente por Laurentino (2019) e Gaião (2018) nos quais obtiveram-se os seguintes resultados, como mostra-se na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades físicas dos materiais de partida

MATERIAL	MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³)			MASSA UNITÁRIA (g/cm ³)	ÁREA ESPECÍFICA (cm ² /g)	IAP CIMENTO * (% mín)	IAP CAL** (MPa, mín.)
	NBR NM 23	NBR NM 52	NBR 10908	NBR NM 45	BET	NBR 5751	NBR 5752
CIMENTO	2,92	-	-	-	24.800	-	-
METACALIM	2,59	-	-	-	183.000	123	7,0
RESÍDUO DE TIJOLO	2,61	-	-	-	138.000	-	4,25
AREIA EÓLICA	-	2,62	-	1,67	-	-	-
ADITIVO 1***	-	-	0,990 - 1,030	-	-	-	-
ADITIVO 2****	-	-	1,160 - 1,200	-	-	-	-

* Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle. Requisitos da NBR 12653 ≥ 90%.

** Atividade pozolânica com cal aos sete dias. Requisitos da NBR 12653 ≥ 6,0 MPa.

*** Aditivo 1: plastificante e incorporador de ar TEX-MIX da GCP Applied Technologies. Atende a ABNT:NBR 11768 – Tipo IA.

**** Aditivo 2: estabilizador de hidratação - ECO-TEC 26 da GCP Applied Technologies.

Fonte: Adaptado, Laurentino (2019); Gaião (2018); Filho (2018)

A análise granulométrica do agregado miúdo foi realizada por peneiramento com base na NBR NM 248. A Figura 8 apresenta seus limites das zonas ótima e utilizável estabelecidos pela NBR 7211, bem como sua distribuição granulométrica. Diante do exposto, Laurentino (2019) observou que o diâmetro máximo para a areia utilizada é de 1,2 mm e módulo de finura igual a 1,87, sendo caracterizado assim como uma areia fina.

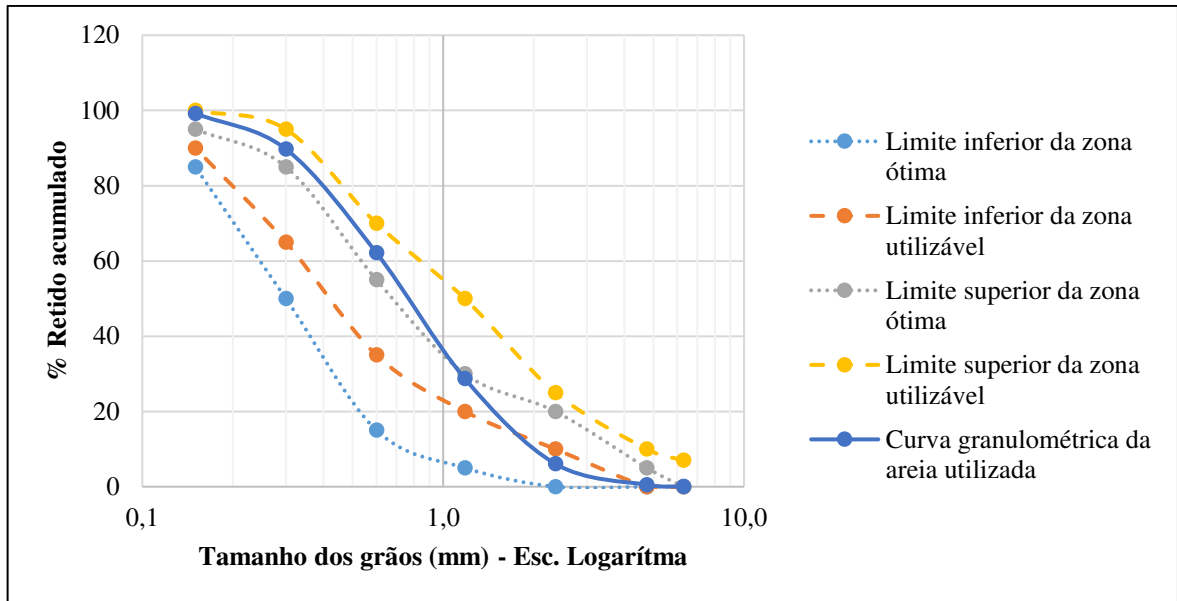


Figura 8 - Granulometria do agregado miúdo

Fonte: Laurentino (2019)

Das curvas granulométricas do cimento e do metacaulim, apresentadas nas Figuras 9 e 10, obtidas num granulômetro a laser (CILAS 1090, modo de dispersão integrada seco), observa-se que as partículas de ambos apresentam tamanho máximo de aproximadamente 50 μm . O cimento possui 80% das partículas estão compreendidas entre 0,57 μm e 21,01 μm frente a 80% das partículas entre 0,84 μm e 22,66 μm para o metacaulim. Possuindo um diâmetro médio do MC e cimento CP V de 8,22 e 8,57 μm , respectivamente.

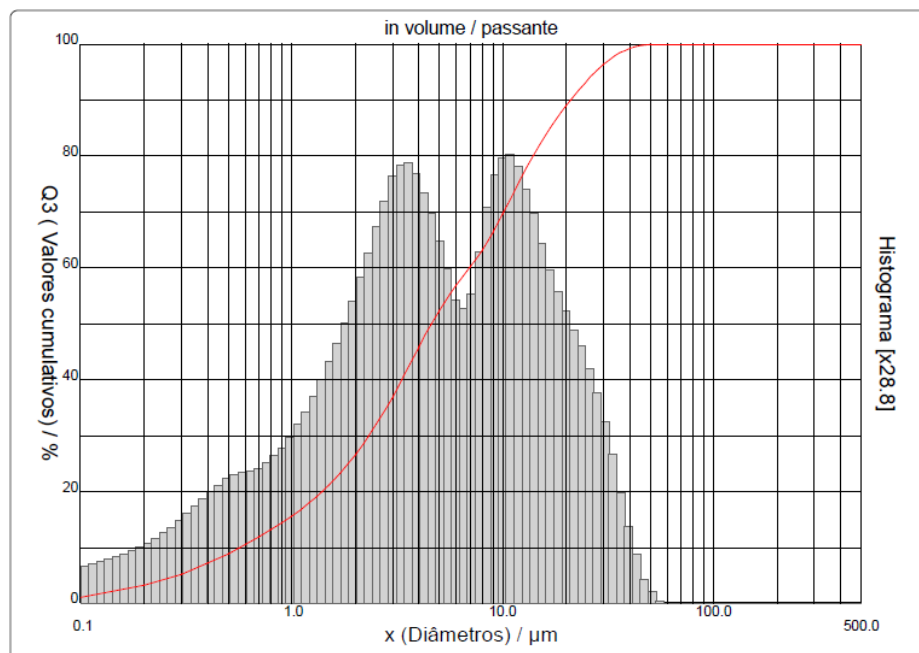


Figura 9 - Curvas granulométricas à laser do cimento CP V

Fonte: Laurentino (2019)

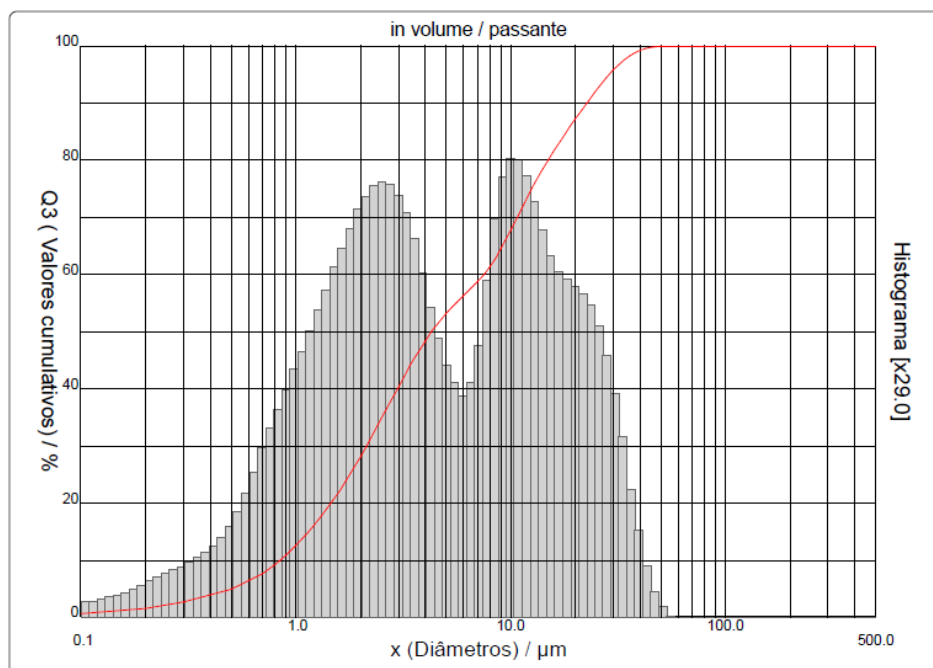


Figura 10 - Granulometria do metacaulim

Fonte: Laurentino (2019)

A composição química do cimento, MC e RTCM foram determinadas através de fluorescência de Raios-X (FRX), no equipamento do modelo Shimadzu EDX-90, e encontram-se expostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química por fluorescência de Raios-X (% em massa) do cimento, RTCM e MC.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	SO ₃	SrO	Outros
Cimento	16,38	5,58	3,38	66,94	1,50	1,68	0,03	0,25	4,08	0,07	0,10
Metacaulim*	49,74	36,74	7,24	0,57	1,63	1,83	0,04	1,71	0,23	0,02	0,25
RTCM	56,49	24,18	12,15	0,21	2,40	0,74	-	2,07	0,23	-	0,32

* SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ = 93,72% ≥ 70 (% mín., NBR 12653, ABNT, 2014). SO₃ = 0,23 ≤ 4 (% máx., NBR 12653, ABNT, 2014).

Fonte: Adaptado, Laurentino (2019)

Em relação ao RTCM, observa-se cerca de 56% de dióxido de silício (SiO₂) e cerca de 24% de óxido de alumínio (Al₂O₃). Além disso, possui também, em sua composição, cerca de 12% de óxido de ferro (Fe₂O₃). A soma da porcentagem desses três óxidos representa cerca de 93% da composição química da adição mineral advinda do RTCM, que segundo a NBR 12653 (2014) classifica-se como material pozolânico de classe N por ter percentuais de SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ = 93% ≥ 70%. Já o MC possui 93,72%, assim possuindo a mesma classificação do RTCM.

As características mineralógicas foram determinadas através do difratograma de Raios-X do metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico moído, que podem ser vistas nas figuras 11 e 12. Foram obtidas em equipamento Shimadzu, XRD 6000, sob radiação Cu, com Raios-X em

40kV-30mA, velocidade de leitura de 2°/min, num intervalo de 5° a 65° 2 θ a um passo angular de 0,02° 2 θ . A identificação dos picos foi feita pelo uso do software MDI JADE 5.0.

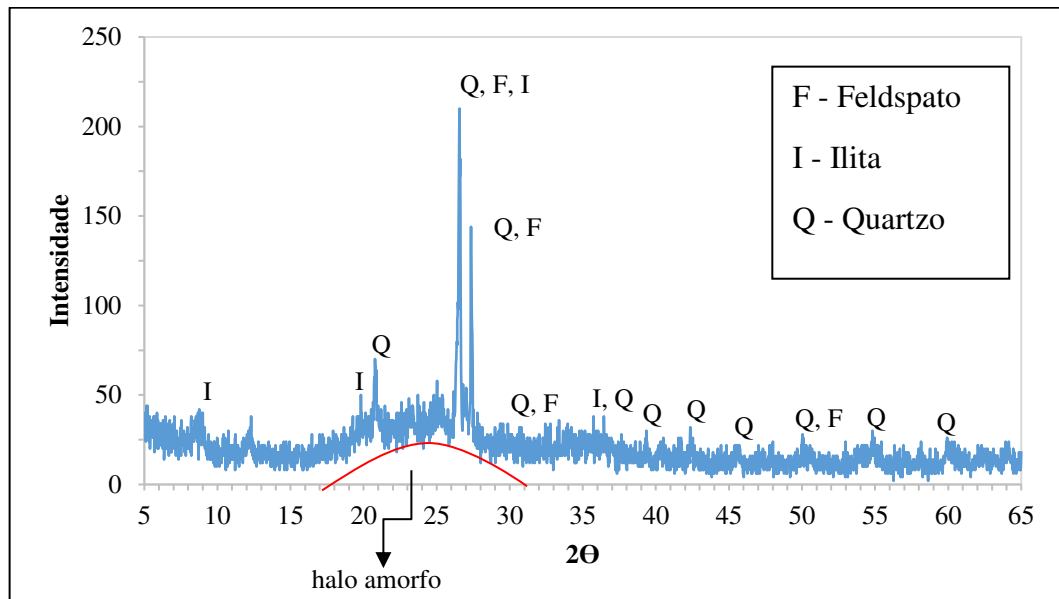


Figura 11 - Difratograma de Raios-X do metacaulim.

Fonte: Gaião (2019)

Laurentino (2019), observou que o metacaulim é composto majoritariamente por quartzo. Outras fases como feldspato e ilita também foram detectadas, bem como um halo amorfo entre 20 e 30° (2 θ). Esse halo amorfo indica que o metacaulim apresenta possível reatividade pozolânica.

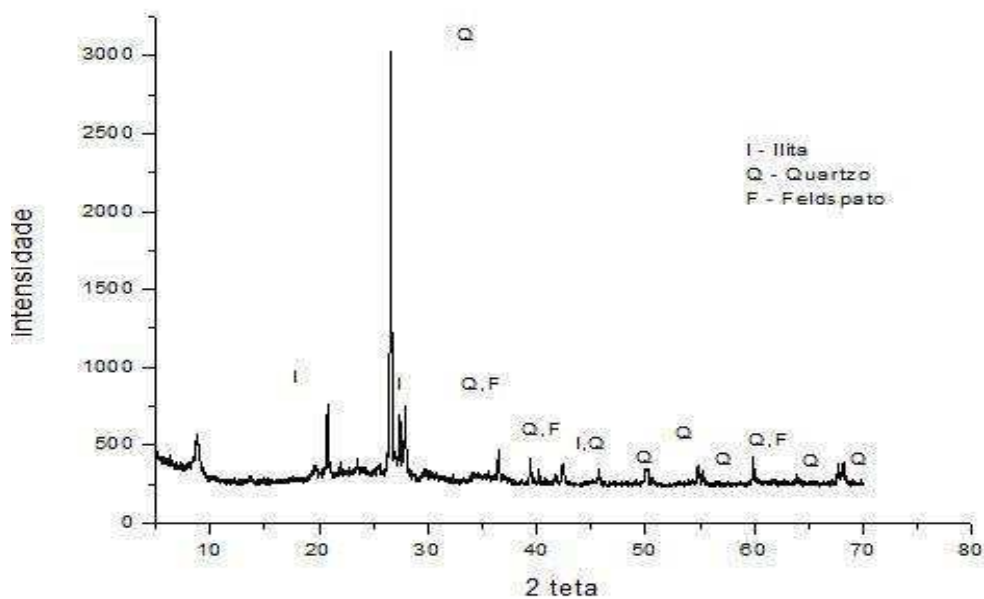


Figura 12 - difração de raios-x do RTCM

Fonte: Laurentino (2019)

Através do difratograma, Figura 12, Gaião (2019) verificou que tanto o RTCM quanto o MC são compostos majoritariamente por quartzo. Outras fases constituintes como a ilita e feldspato também foram detectadas pelo DRX. Observa-se também que não há um halo amorfo evidente, como indicado para o MC. Isto implica dizer que provavelmente o RTCM tem menos potencial de reatividade pozolânica.

5.3. MÉTODOS

Os procedimentos de ensaio foram divididos em 2 etapas: dosagem da argamassa estabilizada; e ensaios das argamassas no estado fresco e endurecido.

5.3.1. Preparação das amostras

O traço utilizado foi também foi abordado por Laurentino (2019) e o mesmo utilizado pela Supermix Concreto SA, que comercializa esse produto na cidade de Campina Grande-PB. Na Tabela 4 é apresentado esse traço em massa em detalhes.

Tabela 4- Traço em massa da argamassa de referência

Componente	Proporção
Cimento Portland	1,00
Agregado miúdo	5,804
Plastificante incorporador de ar	0,044%
Plastificante retardador de pega	0,916%

Fonte: Laurentino (2019)

Para a realização dos ensaios foi utilizado o traço descrito na Tabela 5 com substituição de 10% e 20% da massa de cimento por adição de MC. Como também com substituição dos teores de 10% e 20% da massa do cimento por adição de RTCM. Essas proporções de materiais foram as que apresentaram melhores resultados segundo o estudo de Laurentino (2019). Para esse traço foram produzidas uma argamassa de referência (REF) constituída de cimento Portland, agregado miúdo, água e os aditivos de acordo com suas porcentagens em relação a quantidade de cimento e também por argamassas contendo misturas com MC e outras com RTCM. Todas as amostras foram analisadas para três tempos de estabilização: 0, 36 e 48 horas para o estudo das propriedades no estado fresco e endurecido.

A preparação das amostras feitas em laboratório obedeceu a NBR 16541 (ABNT, 2016), com a utilização de um misturador elétrico para argamassa, da marca Vonder, como apresentado na Figura 13. As argamassas foram confeccionadas, segundo Silva (2011), com a seguinte sequência: colocou-se o material seco dentro da cuba do recipiente plástico e realizou-se a homogeneização por 30 segundos na velocidade 1, com 180 rpm - 460 rpm. Em seguida com o misturador ligado na velocidade 1 adicionou-se 75% da água com 75% dos aditivos de modo contínuo até 20 segundos; por fim adicionou-se o outros 25% da água com aditivos e misturou-se, agora na velocidade 2, com 300 rpm - 750 rpm, pelo período de 90 segundos.



Figura 13 - Mistura da argamassa estabilizada com o misturador.

O armazenamento das amostras foi realizado em recipientes de PVC, em local protegido do sol e vento, e foi adicionado uma película d'água de aproximadamente 3 cm, conforme na Figura 14.

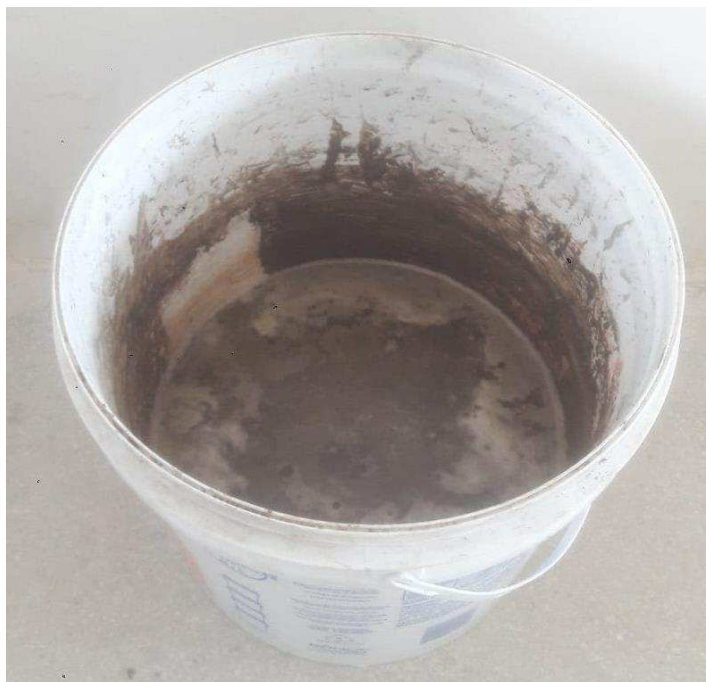


Figura 14 - Argamassa com película de água de 3 cm para estabilização.

5.3.2. Ensaio nas argamassas

Para a argamassa no estado fresco foram analisadas as seguintes propriedades: trabalhabilidade, teor de ar incorporado e densidade de massa fresca.

O ensaio da Mesa de Consistência ou “Flow Table” foi realizado conforme a NBR 13276 (ABNT, 2016), como mostrado na Figura 15. As amostras foram ensaiadas nos tempos de estabilização: 0h, 36hrs e 48hrs, tornando-se possível avaliar a trabalhabilidade ao longo do tempo.



Figura 15 - Ensaio da mesa de consistência.

Para a determinação da densidade de massa fresca e teor de ar incorporado seguiu-se os procedimentos prescritos na NBR 13278 (ABNT, 2005). Neste ensaio foi determinado a relação entre o volume e massa da argamassa fresca, conforme a Figura 16. Foi utilizado um recipiente metálico cilíndrico de massa e volume conhecidos. As amostras foram ensaiadas imediatamente após sua preparação.



Figura 16 – Pesagem da amostra no ensaio de densidade de massa fresca.

Foram moldados corpos de provas prismáticos, com dimensões 4x4x16 cm, nos tempos: 0h, 36hrs e 48hrs para avaliar o desempenho das amostras de argamassa estabilizada, Figuras 17 e 18. Para cada tempo de estabilização foram realizados 3 CP's para análise. Permaneceram de 24 horas, para os últimos corpos de prova moldados, e até 72 horas, para os primeiros, visto que a ação do aditivo retardador de pega impossibilitou o desmolde no tempo previsto pela NBR 13279 (ABNT, 2005). A cura inicial foi feita ao ar, e em seguida foram desmoldados e submetidos a cura final através de imersão em água até a idade de ensaio, 28 dias.

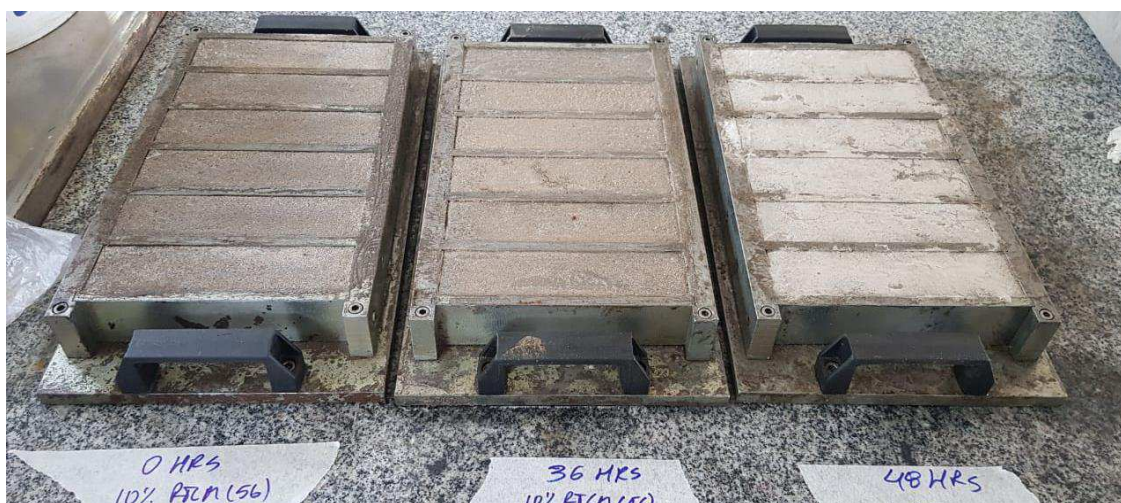


Figura 17 - Corpos de provas moldados para os três tempos de estabilização.

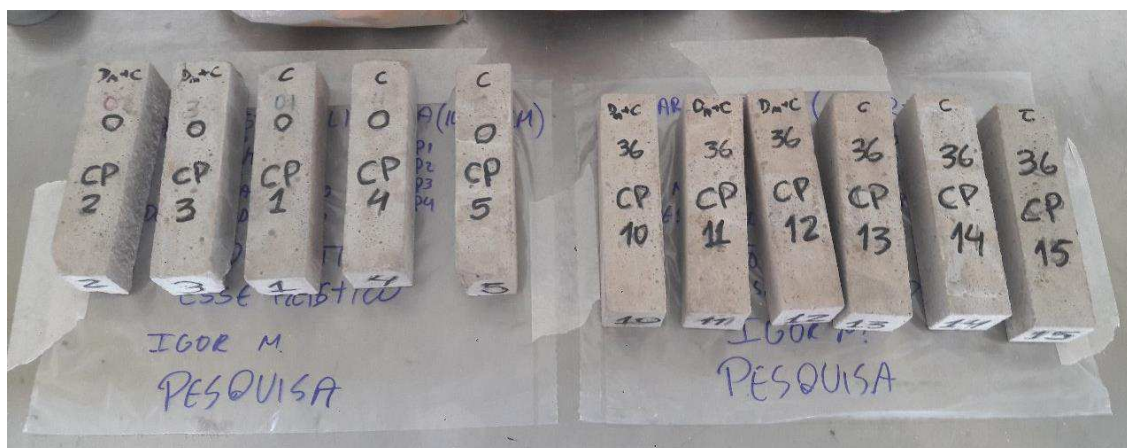


Figura 18 - Corpos de provas numerados e prontos para ir para cura de 28 dias.

As propriedades avaliadas no estado endurecido foram: resistência mecânica, densidade de massa aparente e absorção de água por capilaridade.

A resistência à tração na flexão e à compressão axial são obtidas através dos procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005), onde as resistências à tração na

flexão e à compressão axial dos corpos de prova aos 28 dias são determinadas de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente.

$$Rf = \frac{1,5 \times Ff \times L}{40^3} (1)$$

Onde:

Rf = resistência à tração na flexão

Ff = a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L = distância entre os suportes, em milímetros;

$$Rc = \frac{Fc}{1600} (2)$$

Onde:

Rc = resistência à compressão, em megapascals;

Fc = carga máxima aplicada, em newtons;

Esta propriedade está relacionada à capacidade da argamassa de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas atuantes nas edificações. Para a análise desta propriedade foi avaliada a resistência à compressão axial e tração na flexão conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005).

Foram obtidas através de ensaio no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da UFCG, com o equipamento Shimadzu Servopulser, modelo EHF-EM100K1-020-0A, como apresentado na Figura 19 e 20. Foram aplicadas cargas de 50 ± 10 N/s para a o ensaio de resistência a tração na flexão e 500 ± 50 N/s para a resistência a compressão, até a ruptura dos corpos-de-prova. O ensaio de tração na flexão teve auxílio de alguns anteparos criados para adaptação da máquina para sua realização. Já o de compressão necessitou de o auxílio de duas placas 4x4 cm para concentração do esforço nessa área.



Figura 19 - Ensaio de Tração na flexão.



Figura 20 - Ensaio de Compressão axial

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem como objetivo medir a absorção de água pelos poros capilares dos corpos de prova. O ensaio de determinação de absorção de água por capilaridade foi realizado com base na NBR 15259 (ABNT, 2005).

Esses foram os mesmos utilizados para o ensaio de densidade de massa aparente, possuindo, assim, registro de suas respectivas dimensões, e massa inicial. Foi usado um recipiente plástico com água, e uma grade metálica que permitiu que os corpos de prova não tivessem em contato direto com o fundo do recipiente, como mostrado na Figura 21. O nível de água permaneceu constante a 5 ± 1 mm acima da face em contato com a água.



Figura 21 - Ensaio de capilaridade sendo executado com corpos de prova prismático.

A determinação da absorção de água por capilaridade após os 28 dias foi dada pela Equação 3.

$$At = \frac{mt - m_0}{16} \quad (3)$$

Onde:

At = absorção de água por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em gramas por centímetro quadrado.

mt = é a massa inicial do corpo de prova, em g;

m₀ = é a massa inicial do corpo-de-prova, em g;

t = corresponde aos tempos de 10min e 90min, em segundos;

A densidade de massa no estado endurecido está relacionada à compacidade da argamassa, resultado da proporção de agregado em relação ao aglomerante e da distribuição granulométrica da mistura (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004). Foram colocados em estufa por 24 horas, à 100 ± 5°C, até que esses atingissem massa constante. Foi utilizado um paquímetro para obtenção das medidas de diâmetro e altura dos corpos de prova. Posteriormente, foram pesados para que fosse determinado as densidades de massa individuais e médias, como apresentado na Figura 22.



Figura 22 - Peso da massa seca do corpo-de-prova prismático para determinação da densidade de massa endurecida (ou aparente).

A densidade de massa aparente foi determinada conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005), e é calculada a partir da Equação 4.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{m}{v} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

m = massa do corpo de prova, em g;

v = volume do corpo de prova, dado por $v = l \times h \times c$ (l=largura, h=altura, c=comprimento), em cm³.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. ESTADO FRESCO

Na Tabela 6, são apresentados os dados de relação água/aglomerante (a/agl.) obtidos para uma consistência de 280±5 mm no tempo inicial da preparação da amostra, detalhados no apêndice A. Esse valor de consistência foi utilizado como base, devido sua já utilização pelas empresas na cidade de Campina Grande. Além disso, ainda na Tabela 6, são apresentados os resultados obtidos a partir da mesa de consistência das argamassas ensaiadas em função do tempo de estabilização. Já na Figura 23, são ilustrados os dados da Tabela 6 em função do tempo de estabilização.

Tabela 5 - Dados das misturas das argamassas estudadas.

% DE ADIÇÃO	RELAÇÃO A/AGL.	ESPALHAMENTO (MM)		
		0h	36h	48h
0%	0,97	285,00	278,33	273,33
10% MC	1,10	285,00	265,00	251,67
20% MC	1,11	286,67	258,33	245,00
10% RTCM	1,10	280,00	263,33	255,00
20% RTCM	1,11	278,33	245,00	233,33

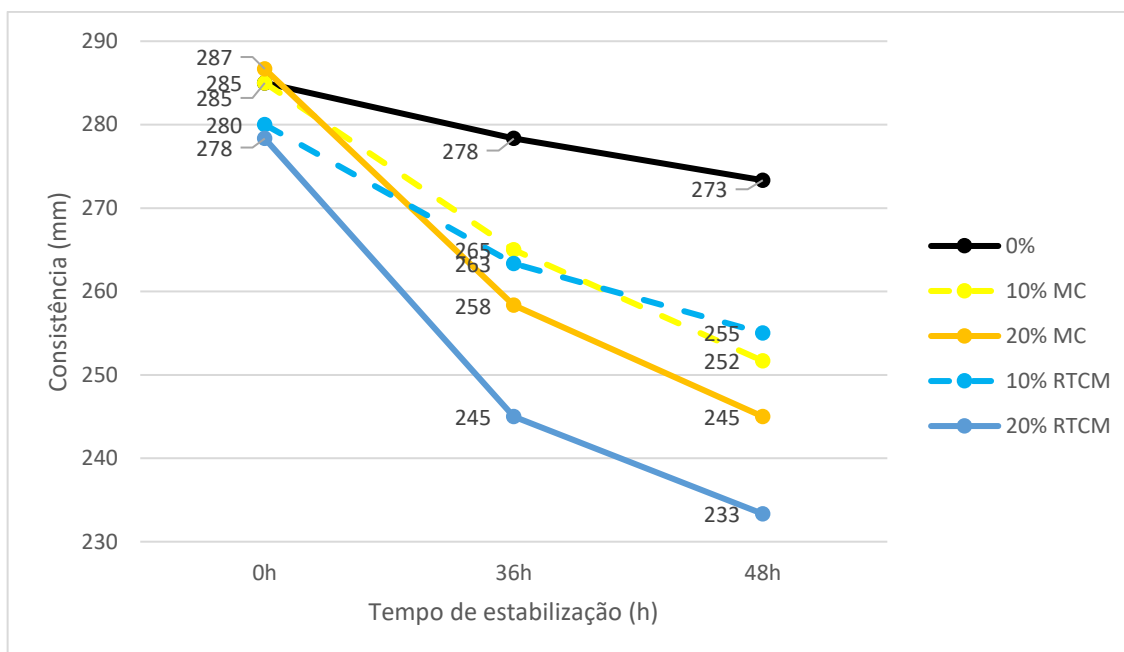


Figura 23 - Curva de espalhamento versus Tempo de estabilização da argamassa com substituição parcial do cimento pelo MC e RTCM.

Levando em consideração o espalhamento inicial de 280 ± 5 mm, pré-estabelecido com a análise da argamassa estabilizada fornecida pela concreteira, observa-se que quanto maior foi o teor de resíduos maior a relação água/aglomerante. A maior quantidade de água se deve ao aumento do teor de MC e RTCM que, apesar de apresentar maiores dimensões de suas partículas em relação às de cimento, possuem características de absorver mais água devido às suas origens mineralógicas, como observado por Vieira (2005).

A argamassa de referência apresentou uma redução de aproximadamente 2,5% e 4% às 36 e 48 horas, respectivamente. Já a argamassa com 10% de MC de adição de MC apresentou uma redução de cerca de 7% e 12% às 36 e 48 horas, respectivamente. Verificou-se que para a amostra de referência se obteve resultados de redução de consistência inferior à amostra com 10% de MC tanto às 36 quanto às 48 horas. Isso pode ter sido ocasionado pela estrutura lamelar do metacaulim que promoveu facilidade no escorregamento entre suas camadas, e também devido as suas reações de hidratação que se processam de forma mais lenta que às do cimento Portland, observadas por Matos (2015) e Barbosa (2006).

Quando se analisam a amostras com 10% de RTCM verificou-se uma redução de 6% e 9%, aproximadamente, com o valor inicial, para as amostras de 36 e 48 horas. Fazendo uma comparação entre essas duas amostras verificou-se que o RTCM com substituição de 10%,

possui com comportamento de queda de consistência ao longo das horas de estabilização similar ao de 10% de MC.



Figura 24 - Amostra com 20% de RTCM às 36 horas.

Nas amostras de 20% de MC e RTCM, observa-se um decaimento significativo de ambas com as horas de estabilização. Quanto ao MC, da consistência analisada as 0 para as 48 horas ocorreu um decaimento de 15%, já quanto ao RTCM uma redução de, aproximadamente 16%. Logo, mais expressiva na amostra contendo resíduo de tijolo, como mostrado na Figura 24. Para o Resíduo de tijolo pode-se averiguar que, como Lucas (2013) relata o RTCM possui uma alta capacidade de absorção de água, podendo ser o responsável pela redução do espalhamento da argamassa no teste e reduzindo o índice de consistência, pois um maior teor de resíduo absorverá maior quantidade de água. O autor ainda acrescenta que isso está relacionado com a capacidade que o resíduo de tijolo possui em reter água, devido a sua elevada absorção de água, deixando a mistura mais seca. Outro fator que pode ter colaborado para esses resultados foi a quantidade utilizada de aditivos, não sendo suficiente para manter a qualidade da argamassa estabilizada, prejudicando sua utilização devido à perda de sua trabalhabilidade, como avaliado por Laurentino (2019).

Os resultados de densidade de massa fresca e teor de ar incorporado com diferentes tempos de estabilização podem ser visualizados nas figuras 25 e 26, mais detalhados nos apêndices B e C, correspondentes as misturas em função dos teores de MC e RTCM.

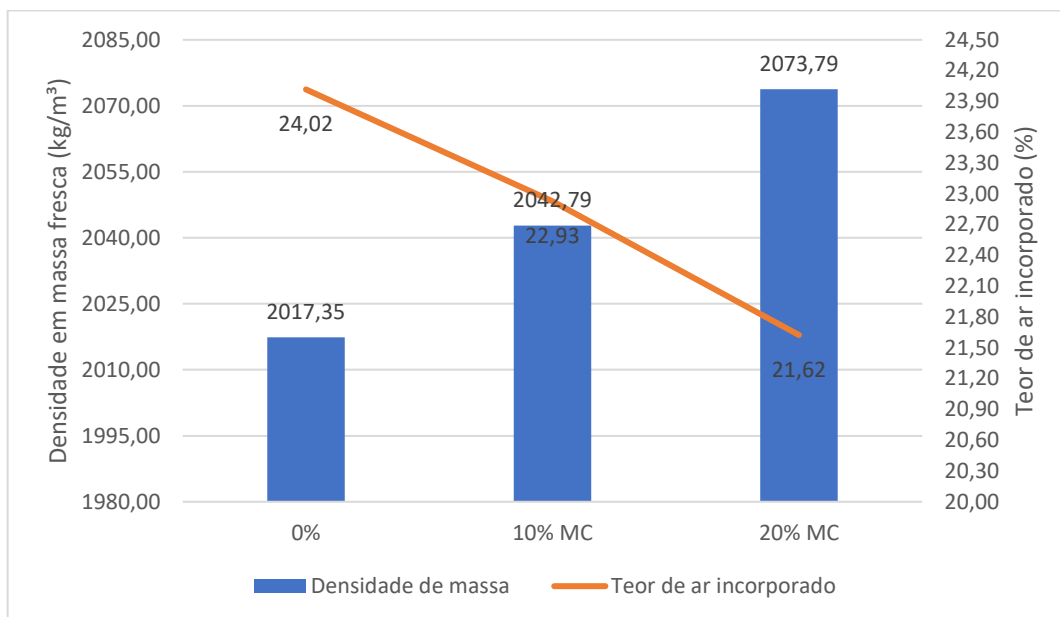


Figura 25 - Variação da densidade em massa fresca e teor de ar incorporado em função do teor de MC.

Quanto às misturas com metacaulim, com o aumento do teor a densidade de massa fresca aumentou. Esse aumento foi em média de 2,8% entre as misturas com 0% e 20%. O aumento da densidade pode estar relacionado com a melhoria da disposição do arranjo da argamassa com o maior teor do MC, cuja densidade é menor que a do cimento, e como apresentado por Laurentino (2019). Uma das explicações para esse fenômeno poderia ser a instabilidade das bolhas de ar incorporado na massa. A redução do teor de ar incorporado pode implicar na perda de trabalhabilidade das argamassas, dificultando o seu manuseio, Vaz (2017). Observa-se ainda que ocorreu um aumento da massa específica com o aumento dos tempos de estabilização, conforme resultados obtidos por Santana (2018).

Conforme as Figuras 9 e 10, mostradas anteriormente, as partículas de MC possuem dimensões maiores quando comparadas às de cimento. Isto pode ter promovido uma melhoria no arranjo da argamassa, diminuindo a quantidade de vazios.

Além disso, é possível observar que com o aumento do teor de MC na argamassa o teor de ar incorporado sofre uma diminuição. Essa redução foi em média de 10% entre as misturas com 0% e 20%, podendo ser explicado pela redução na quantidade de vazios e também pela quantidade de aditivo, uma vez que a quantidade de cimento diminui a quantidade de aditivo incorporador de ar decai proporcionalmente.

Quanto as misturas com RTCM, percebe-se praticamente o mesmo comportamento do MC. Assim, observa-se um pequeno aumento médio na densidade de massa de, respectivamente, 0,15% e 0,85% entre as misturas com 10% e 20% em relação a amostra de referência.

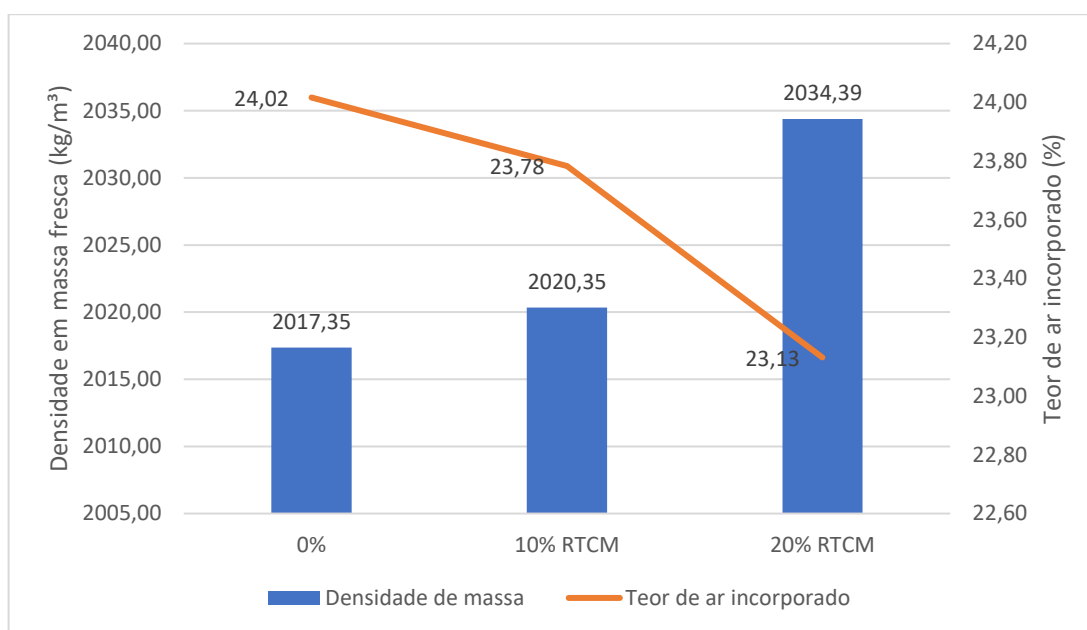


Figura 26 - Variação da densidade em massa fresca e teor de ar incorporado em função do teor de RTCM das argamassas

Quanto ao teor de ar incorporado verifica-se uma diminuição a medida de a densidade de massa fresca aumenta. Comparando as argamassas de referência com a de 10% e 20% de RTCM temos uma diminuição em média de 1% e 3,7%.

Nas amostras de 20% de MC e RTCM, observa-se um decaimento significativo do teor de ar incorporado de ambos os teores com as horas de estabilização, o que vem colaborando a premissa de que o MC e o RCTM conferem menor trabalhabilidade, ao longo das horas de estabilização, nas misturas de argamassas, porém não sanada com a dosagem de aditivo utilizada, como foi observado com as análises de trabalhabilidade. Quanto ao MC, da consistência analisada as 0 para as 48 horas ocorreu um decaimento de 15%, já quanto ao RTCM uma redução de, aproximadamente 16%.

6.2. ESTADO ENDURECIDO

Os resultados de resistência à compressão e tração na flexão se encontram nas Figuras 27 e 28, mais detalhados nos apêndices D, E e F.

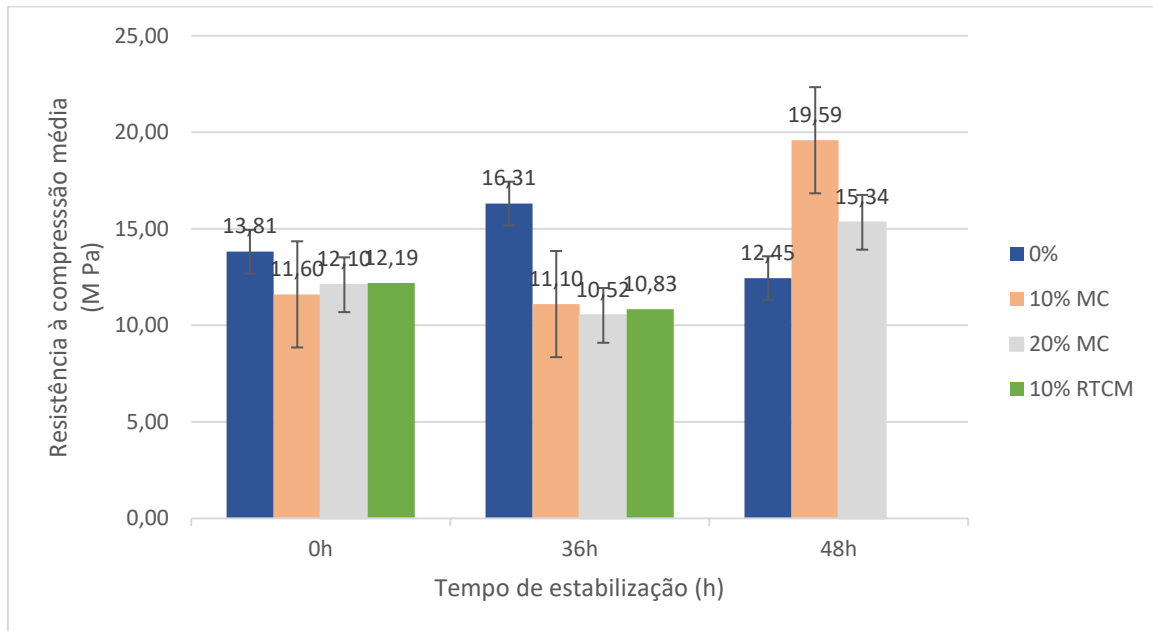


Figura 27 - Resistência à compressão das argamassas estabilizadas com MC e RTCM aos 28 dias

A resistência à compressão das argamassas atingiu valores que variaram de 10,52 a 19,59 MPa em função do tempo de moldagem e do teor de adição. Como observado na Figura 27, verifica-se um aumento da resistência das misturas com 48 horas de estabilização. Cruz (2019) constatou o mesmo comportamento, um aumento da resistência de argamassas com metacaulim. Outro comportamento refletido foi que a amostra de referência apresenta um crescimento da resistência até as 36 horas de estabilização, porém há um decréscimo ao tempo de 48 horas. Bellei (2019) também notou essa queda de resistência para amostras com mais horas de estabilização, tanto nos ensaios à tração na flexão, quanto à compressão. Provavelmente, pelo teor de ar incorporado ser maior nessas argamassas, essas propriedades acabam sendo prejudicadas, acrescenta a autora.

Quando se analisam as amostras nos tempos de 0 e 36 horas, percebe-se um aumento da resistência em 18,1% na amostra de referência e redução de 4,3% e 13,1% nas amostras com 10 e 20% de MC, respectivamente. Para 0 e 48 horas, a de referência cai 9,8%, enquanto 10 e 20%, aumentam em 68,9 e 26,8%, respectivamente. Fato que não acontece nas amostras com 10% e 20% de MC, que para 48h há um aumento.

Nas amostras com 10% de MC, à medida que aumenta o tempo de estabilização, maior é sua resistência a compressão. Comportamento semelhante com a mostra de 20% que atinge 15,34 Mpa as 48 horas.

Para amostras de RTCM obteveram-se os resultados com 10% e com apenas 2 estabilizações devido a uma interrupção nas atividades dos laboratórios da UFCG decorrido da pandemia da corona vírus em 2020. Porém pode-se verificar um comportamento das amostras semelhante as amostras de MC.

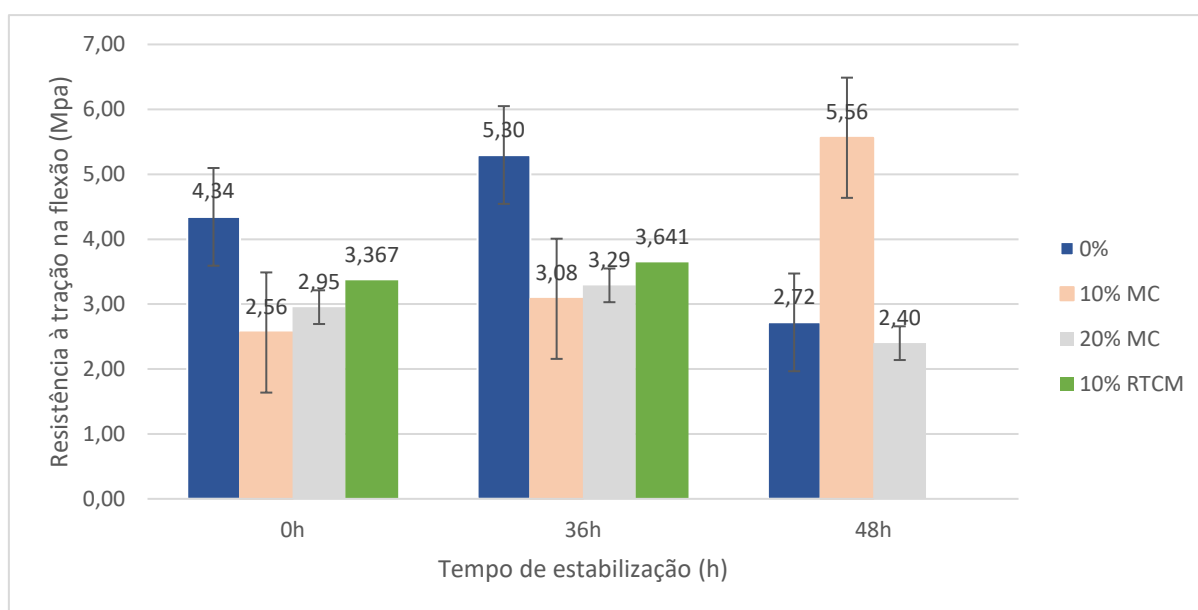


Figura 28 - Resistência à tração na flexão das argamassas estabilizadas com RTCM e MC aos 28 dias de cura.

A resistência a tração na flexão comportou-se de maneira semelhante as de compressão. Visto que as amostras de referência tiveram seu pico de resistência as 36 horas de estabilização, porém teve uma queda as 48 horas. Enquanto a com 10% de MC houve um crescimento à medida que aumentava o tempo de estabilização, tendo seu pico as 48 horas que quando comparado com o tempo 0 teve um aumento de 117,2%. A amostra de 20% teve seu pico de resistência a flexão com 36 horas de estabilização, porém perdeu resistência com 48 horas.

Já referente ao RTCM dentre as amostras com teores de substituição foi a que se comportou com os melhores resultados as 0 e 36 horas de estabilização, mas todas com valores inferiores a amostra de referência. Quando comparadas entre horas de estabilização a amostra de resíduo de tijolo teve um crescimento em sua resistência a tração de 8,1%.

Na Figura 29 são apresentados os resultados de densidade de massa, para as argamassas com 28 dias de cura e diferentes tempos de estabilização, mais detalhado no apêndice G.

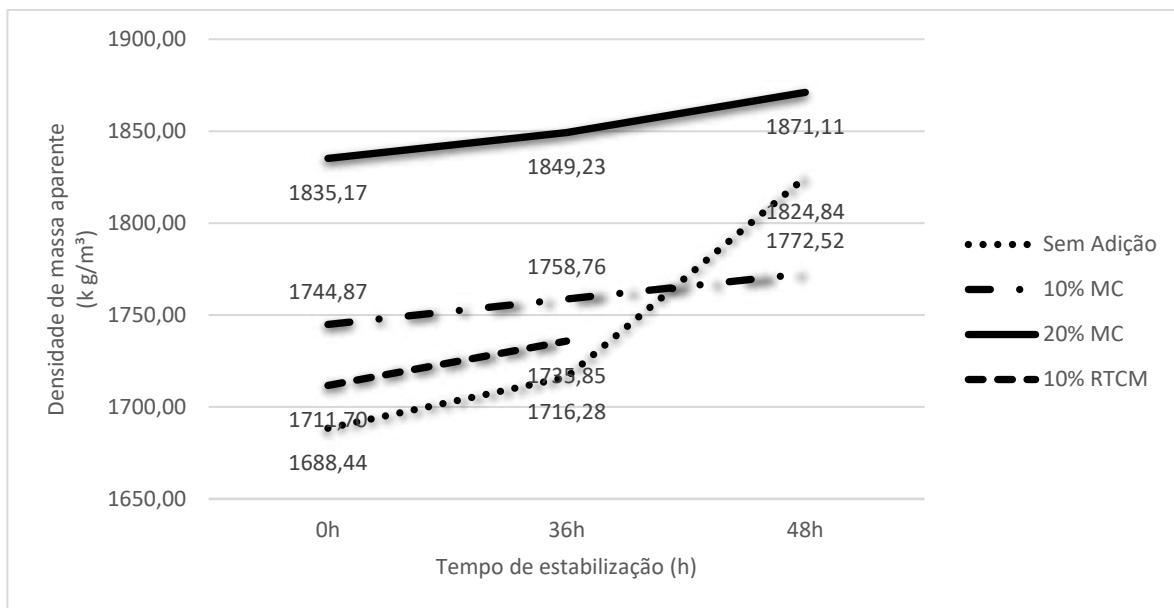


Figura 29 - Densidade de massa endurecida das argamassas estabilizadas com RTCM e MC aos 28 dias de cura.

Observa-se que com o aumento do teor de MC as argamassas apresentaram maiores densidades. Nas argamassas de referência os valores de densidades de massa variaram entre 1.688,44 kg/m³ a 1.824,84 kg/m³, com o passar do tempo de estabilização, representando um aumento de cerca de 8,1%. Nas argamassas com 10% de MC os maiores valores de densidade foram de 1.772,52 kg/m³ e o menor foi de 1.744,87 kg/m³, aumento de aproximadamente 1,58%. Para 20% tivemos um menor valor de 1835,17 kg/m³ e maior as 48 horas de 1871,11 kg/m³, um aumento de aproximadamente 2%. Com o RTCM pode-se verificar a mesma tendência de crescimento, nas amostras com 0 e 36 horas de estabilização apresentam um crescimento de 1,4%.

Vale ressaltar um aumento da densidade em todas as amostras em relação aos tempos de estabilização. E que os maiores valores de densidade foram encontrados nas misturas que tiveram 48 horas de estabilização. Para Vaz (2017) o ganho de densidade de massa após 24 horas do preparo da argamassa pode ser atrelado à perda de ar incorporado da mistura ao longo do tempo. E acrescenta que uma das explicações para esse fenômeno poderia ser a instabilidade das bolhas de ar incorporado na massa.

Outra analogia vista no gráfico é que quanto maior o teor de adição pozolana nas misturas, maiores são suas densidades. Dal Molin (2005) apud Koffs (2018) cita que isso ocorre tanto pelo efeito físico quanto pelo químico produzido pelas pozolanas, que quando em contato

com a água tem a capacidade de reagir produzindo compostos de C-S-H, os quais refinam a microestrutura do concreto. As reações hidráulicas sofridas pela argamassa, assim como as pozolânicas, aumentaram a massa específica das amostras.

Os resultados das argamassas quanto à permeabilidade por capilaridade são apresentados na Figura 30, mais detalhado no apêndice H.

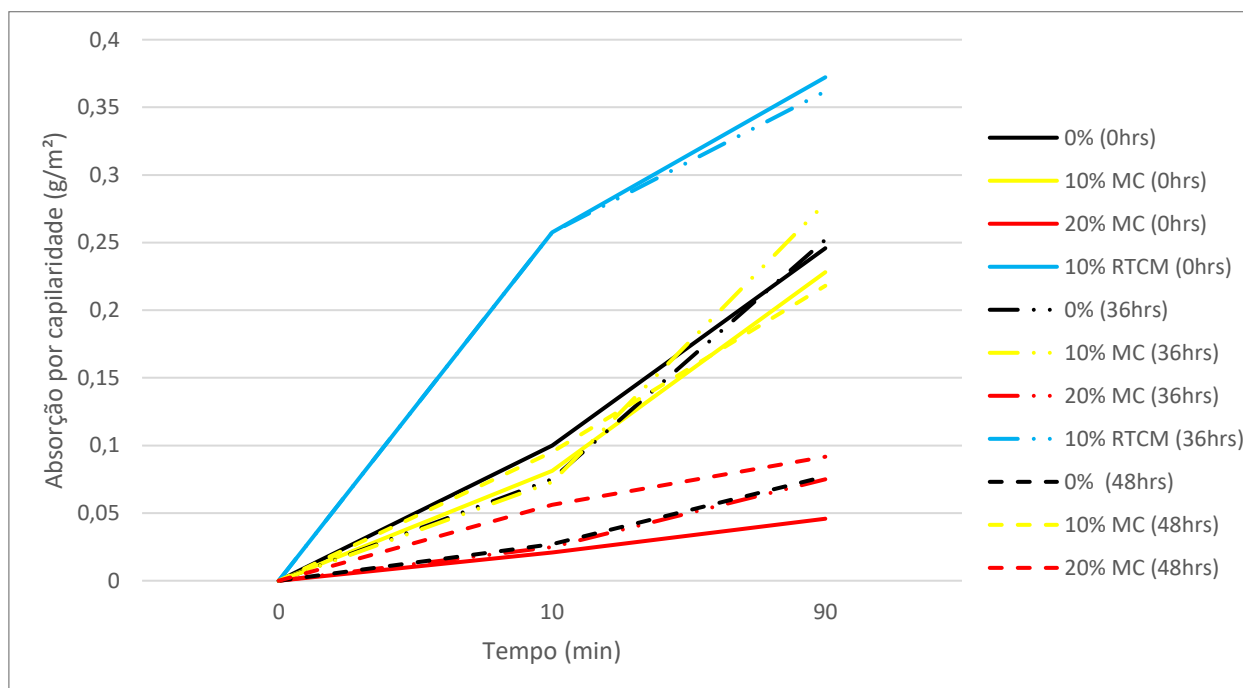


Figura 30 - Absorção por capilaridade das argamassas com MC e RTCM aos 28 dias de cura.

Quanto a argamassa de referência (0%), comportou-se de forma que à medida que aumenta o tempo de estabilização, ocorre um aumento da absorção pelos capilares. Quando comparado ao 10% de MC que apresentou valores a 36 horas de estabilização bem maiores, houve uma absorção superior, como observado também por Cruz (2019) e Laurentino (2019), no qual a adição mineral elevou a absorção por capilaridade. Isso deve-se ao fato da característica do MC, que vem de uma argila Koffs (2018) e absorve mais água. Outro fator de relevância quanto a isso, é em relação a matriz cimentícia da mistura com 10% de MC, que ao substituir em 10% cimento por MC, consagrou uma matriz cimentícia mais densa. A amostra de 20% com MC obteve uma secagem, pós cura, ao ar livre, o que pode ter influenciado nos seus resultados, obtendo valores de absorção baixos. Observa-se quanto ao RTCM uma tendência de apresentar maiores valores de absorção de água, visto que as misturas com 0 e 36 horas de estabilização com 10% de RTCM apresentaram um maior índice de absorção frente as outras amostras.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho procurou investigar o uso do resíduo de tijolo cerâmico moído e metacaulim, como adição mineral para substituição parcial do cimento em argamassas estabilizadas comparando seus resultados. O conhecimento do comportamento das argamassas estabilizadas, é de fundamental importância para a difusão do seu uso no Brasil, o que reforça a necessidade de se conhecer o comportamento desse produto, tanto no estado fresco quanto endurecido, para definição de critérios de aceitação para recebimento, armazenamento e uso corrente em obras. Diante dos resultados obtidos, é possível destacar as seguintes conclusões:

- Com substituição parcial nas misturas foi possível observar que quanto maior foi o teor de resíduos (metacaulim e resíduo de tijolo cerâmico) maior a relação água/aglomerante. Quanto a trabalhabilidade, no ensaio de consistência, verificou-se que a argamassa de referência apresentou uma redução de aproximadamente 2,5 e 4% às 36 e 48 horas, respectivamente, obtendo uma constância da trabalhabilidade ao longo das horas de estabilização. O RTCM possuiu um comportamento, com substituição de 10%, similar ao de 10% de MC, ambos obtiveram os melhores resultados entre as misturas com substituição;
- Nas amostras de 20% de MC e RTCM, observa-se um decaimento significativo de ambas com as horas de estabilização. Quanto ao MC, da consistência analisada as 0 para as 48 horas ocorreu um decaimento de 15%, já quanto ao RTCM uma redução de, aproximadamente 16%. Decorrente das características dos materiais, que obtém uma alta taxa de absorção de água, contribuindo para deixar as argamassas mais secas ao longo das horas de estabilização. A dosagem dos aditivos nessas amostras mostra a necessidade de novos estudos de dosagens;
- Quanto ao teor de ar incorporado verifica-se uma diminuição a medida que a densidade de massa fresca aumenta, o que vem corroborando a premissa de que o MC e o RCTM conferem menor trabalhabilidade. Além disso, observou-se um decaimento significativo do teor de ar incorporado de ambos os teores com as horas de estabilização, o que vem corroborando a premissa de que o MC e o

RTCM conferem menor trabalhabilidade, ao longo das horas de estabilização, nas misturas de argamassas, porém não sanada com a dosagem de aditivo utilizada;

- Quanto a resistência a compressão aos 28 dias das argamassas estabilizadas, verificou-se que a substituição de 10 e 20% apresentou-se de forma aceitável nas primeiras horas de estabilização, leve quedas as 36 horas e com 48 horas um aumento de 68,9 e 26,8%, para as amostras com 10 e 20% de MC, respectivamente. Quanto a resistência a flexão ocorreu comportamento semelhante;
- Quanto a densidade de massa no estado endurecido, nota-se que quanto maior a quantidade de adição maiores os valores de densidade. Como também quanto maior as horas de estabilização maiores foram as densidades. Apesar de que as argamassas com maior teor de MC terem aumentado sua resistência à compressão e densidade de massa, notou-se que a absorção por capilaridade também aumentou. Para a absorção de água, a amostra de referência apresentou resultados próximos para os tempos de moldagem de 0 e 36 horas, assim como a argamassa com 10% de MC. As amostras com RTCM apresentaram maiores taxas de absorção. As demais amostras apresentaram menor permeabilidade.

8. REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: s.n., 2003.

ABNT. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** 2006.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** 2017.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** 2009.

ABNT. **NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland Parte 1: Requisitos.** 2019.

ABNT. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.** 2016.

ABNT. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** 2005.

ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** 2005.

ABNT. **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** 2005.

ABNT. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — revestimento de paredes e tetos — Requisitos.** 2005.

ABNT. **NBR 13529: Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia.** 2013.

ABNT. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** 2005.

ABNT. **NBR 16372 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine).** 2015.

ABNT. **NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias.** 2015.

ABNT. **NBR 5752: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** 2014.

ABNT. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros Materiais em pó: determinação da massa específica.** 2001.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos Aditivos Incorporadores de Ar em Argamassas de Revestimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 2002.

ANTONIAZZI, Juliana P. *et al.* Avaliação do efeito dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland. **Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas.** Goiânia. Pág. 163-170. 2019.

ARAÚJO, Rísia Amaral. Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassa mista. Dissertação, Natal/RN, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Manual de Revestimentos de Argamassa.** 2002.

AZERÊDO, Aline Figueirêdo Nóbrega de. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais.** Tese de doutorado. 2012.

BAÍÁ, L.L.M. e SABBATINI, F.H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** 2008, 4. ed.

BARBOSA, Fred R., MOTA, João M. F. e P., CARNEIRO Arnaldo M. A influência do teor de adição metacaulim nas propriedades no estado endurecido: capilaridade e resistência mecânica de argamassas inorgânicas para recuperação de monumentos históricos. **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC).** 2006.

BASTOS, Vilson Fontana Junior e SANTOS, Ana Carolina Parapinski. **Estudo da influência dos aditivos nas propriedades da argamassa estabilizada.** 2017.

BAUER, E.; NASCIMENTO, M. L. M; CALDAS, L. R.. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas,** Porto Alegre, RS, 2015.

BAUER, Elton , et al. **Materiais Constituintes e suas Funções.** In: BAUER, E. (Ed) Revestimentos de Argamassas: Características e Peculiaridades. Brasília: LEM-UnB: Sinduscon, 2005.

BELLEI, Poliana e CATEN, Andressa Ten. Avaliação do desempenho da argamassa estabilizada de 36 e 72 horas para revestimento externo em diferentes tempos de utilização e modo de armazenamento. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** junho de 2019, pp. 171 - 178.

BENINI, H.R.. **Reaproveitamento de concreto fresco dosado em central com uso de aditivo estabilizador de hidratação.** São Paulo: USP, 2005. 47 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil e Urbana), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARASEK, H. **Argamassas, Livro Materiais de Construção.** 8ª Edição. s.l.: IBRACON, 2017. Vol. 1.

CASALI, Juliana Machado, et al. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da. **IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**. 2011.

CRUZ, J. S.; OLIVEIRA, F. M. d. C, e CARNEIRO, A. M. P.. A relação entre a resistência mecânica à compressão, o coeficiente de capilaridade, e a variação de massa das argamassas mistas de cal e metacaulim. Manutenção, reabilidade e restauro. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, Goiânia, GO. 2019.

CUNHA M. F.; FORTI B. A.; SILVA B. I.. Tendências da normalização de metacaulim para uso em concretos. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON 52 – NOVAS TECNOLOGIAS DO CONCRETO PARA O CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL, outubro 2010, Ceará. **Anais: IBRACON 2010**, p46.

DACHERY, Mônica. **Avaliação das propriedades da argamassa estabilizada para revestimento externo: aplicação em diferentes substratos, durante diferentes períodos de utilização**. Lajeado: s.n., 2015.

FERRARI, Ana Karoliny; EFFTING, Carmeane; SCHACKOW. **Argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria cerâmica com uso de incorporador de ar e plastificante retardador de pega**. 59º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACON. Bento Gonçalves, RS. 2017.

FILHO, J. S. A. **Influência de Adições Pozolânicas na Reologia de Pastas Cimentícias**. 2018.

GAIÃO, Ítalo Souza. **Concreto estrutural leve contendo argila expandida e adição mineral de metacaulim e resíduo de tijolos cerâmicos**. Campina Grande/PB: s.n., 2019.

GOBBI, Andressa. **Atividade pozolânica de adições minerais pelas NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: uma análise crítica a partir de métodos complementares**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná: s.n., 2014.

GROHMANN, Márcia ZampierI. **Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria**. 1998.

HARTMANN, C, et al. **Aditivos químicos para concretos e cimentos**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 2011, pp. Cap. 10. p. 347 - 380.

JACOSKI, Claudio Alcides; COSTELLA, Marcelo F. e RIGON, Mateus. Estudo pantentométrico de argamassas no Brasil. **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 12,13 e 14 de novembro de 2014, p. 1158.

JEZIORSKI, Gabriel Mateus Zago. **Comparativo entre argamassa estabilizada e argamassa industrializada para assentamento de alvenaria estrutural**. Santa Rosa: s.n., 2018.

KOFFS, Guilherme Nascimento; VENDRUSCOLO e IORHAN Marcelo Dias. 2018. **Análise do efeito de adições minerais na durabilidade de argamassas estabilizadas**. Pato Branco, Paraná: s.n., 2018.

LAURENTINO, Ricardo Nóbrega de Andrade. **Estudo da argamassa estabilizada para assentamento com adição mineral de metacaulim**. Campina Grande: s.n., 2019.

LIMA, Filipe Fernandes de. **Avaliação de desempenho de argamassas estabilizadas no estado fresco**. 2018.

LOPES, Patrik Américo Pollizello. **Efeito da adição de resíduo particulado de tijolos em propriedades de argamassas para construção**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – Área: Cerâmica) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Joinville, 2013.

MACCARI, Guilherme Herdt. **Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de Tubarão/SC**. TCC. Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2012.

MACHADO, Leonardo Tatsch. **Caracterização de argamassas estabilizadas para revestimento**. 2018.

MARTIN, J. F. M.. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. Vol. v. 1.

MATIAS, Gina, TORRES, Isabel e FARIA, Paulina. **Argamassas de substituição com resíduos de tijolo cerâmico**. Coimbra, Portugal: s.n., 2014.

MATOS, Paulo Ricardo de. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: s.n., 2013.

MEDINA, E. A. **Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binários com cimento Portland e hidróxido de cálcio**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

MELO, F. D. d.; et al. Influência da cura úmida em revestimentos executados em argamassa estabilizada. Tecnologia dos materiais. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. Goiânia. 2019.

MENEZES, Romualdo R., et al. Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2009, Vols. v.13, n.6, p.795–801.

MOTA, J. M. d. F.. **Reforço de Alvenaria Resistente com Argamassa Armada com Adição de Metacaulim**. Tese. Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

MOTA, João Manoel Freitas, OLIVEIRA, Romilde Almeida de e CARNEIRO, Arnaldo Manuel Pereira. **Durabilidade de argamassas com adição de metacaulim para reforço de alvenaria**. 2016.

NETO, Antônio A. A. Martins e DJANIKIAN, João Gaspar. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central**. São Paulo: s.n., 1999.

OLIVEIRA, V. C.. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília 2017, p. 245 p.

PRUDÊNCIO JR, Luiz Roberto, OLIVEIRA, Alexandre Lima e BEDIN, Carlos Augusto. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2003.

RAISDORFER, Janderson William. **Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento Portland: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos.** Curitiba: s.n., 2015.

ROMANO, R. C. O.. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicadas em construção civil.** Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente.** ABCP. 2.ed, 1998.

SANTANA, T. d. S.. **Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas.** Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, Lorena *et al.* Estudo das propriedades de argamassas estabilizadas. **Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas.** Goiânia. Pág. 504-512. 2019.

SILVA, Lorena; PIMENTEL, Silvano, CAVALCANTE, Ana Cecilia, PACHECO, Krystian, RESENDE, Jolivar. **Estudo das propriedades de argamassas estabilizadas.** Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas – SBTA, pág. 504-928. Goiânia – GO. 2019.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e fissuração em revestimento de argamassa a fase plástica.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

THOMÉ, MATHEUS WANDERLEY, et al. Estudo da influência da lâmina-d'água utilizada no armazenamento da argamassa estabilizada. **XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas.** 11-13 de junho de 2019, pp. 331-338.

TURRA, Daniel Giovani. **Contribuições para o estudo de algumas propriedades nos estados fresco e endurecido da argamassa estabilizada por 72 horas.** 2016.

VIEIRA, Andressa de Araújo Porto. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa-PB. 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Diâmetro para determinação da trabalhabilidade através da mesa de consistência.

SEM ADIÇÃO	Relação A/Agl.	Espalhamento (mm)											
		0h				36h				48h			
		L1	L2	L3	Média	L1	L2	L3	Média	L1	L2	L3	Média
0	0,97	280	290	285	285	280	280	275	278	270	270	280	273,3

% MC	Relação A/Agl.	Espalhamento (mm)											
		0h				36h				48h			
		L1	L2	L3	Média	L1	L2	L3	Média	L1	L2	L3	Média
10	1,1	280	285	290	285	260	270	265	265	250	250	255	251,7
20	1,11	290	290	280	286,7	260	250	265	258	245	250	240	245

% RTCM	Relação A/Agl.	Espalhamento (mm)											
		0h				36h				48h			
		L1	L2	L3	Média	L1	L2	L3	Média	L1	L2	L3	Média
10	1,1	280	285	275	280	265	265	260	263	250	260	255	255
20	1,11	280	275	280	278,3	250	240	245	245	225	235	240	233,3

APÊNDICE B – Determinação da densidade de massa fresca pelo método gravimétrico.

DENSIDADE DE MASSA – ESTADO FRESCO					
Adição	Estabilização (hrs)	Mv (g)	Mc (g)	Vr (cm³)	d (kg/m³)
SEM ADIÇÃO	0	59,80	965,1	455,93	1985,62
	36	59,80	982,8	455,93	2024,44
	48	59,80	990,8	455,93	2041,99
10% RTCM	0	59,80	968,60	455,93	1993,30
	36	59,80	988,70	455,93	2037,38
	48	59,80	985,5	455,93	2030,36
20%RTCM	0	59,80	962,5	455,93	1979,92
	36	59,80	993,7	455,93	2048,35
	48	59,80	1005,8	455,93	2074,89
10% MC	0	59,80	974,4	455,93	2006,02
	36	59,80	994,6	455,93	2050,32
	48	59,80	1004,5	455,93	2072,04
20% MC	0	59,80	988,4	455,93	2036,73
	36	59,80	1002,3	455,93	2067,21
	48	59,80	1025,2	455,93	2117,44

mv = massa do recipiente; vr = volume do recipiente; mc = massa do recipiente e argamassa; d= densidade.

APÊNDICE C – Determinação do teor de ar incorporado.

TEOR DE AR INCORPORADO - ESTADO FRESCO				
Adição	Estabilização (hrs)	d (kg/m³)	Dt (kg/m³)	A (%)
SEM ADIÇÃO	0	1985,62	2654,98	25,21
	36	2024,44	2654,98	23,75
	48	2041,99	2654,98	23,09
10% RTCM	0	1993,30	2650,78	24,80
	36	2037,38	2650,78	23,14
	48	2030,36	2650,78	23,40
20% RTCM	0	1979,92	2646,58	25,19
	36	2048,35	2646,58	22,60
	48	2074,89	2646,58	21,60
10% MC	0	2006,02	2650,47	24,31
	36	2050,32	2650,47	22,64
	48	2072,04	2650,47	21,82
20% MC	0	2036,73	2645,97	23,03
	36	2067,21	2645,97	21,87
	48	2117,44	2645,97	19,97

Dt = densidade teórica; d = densidade real; A = teor de ar incorporado.

APÊNDICE D – Determinação da compressão axial individuais e médias aos 28 dias (sem adição e RTCM).

COMPRESSÃO (VELOCIDADE 500N/S) 28 DIAS						
Adição	Estabilização (hrs)	CP	Força (KN)	Resistência calculada (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio relativo (%)
SEM ADIÇÃO	0	4	22,77	14,23	13,81	3,02
			23,72	14,82		7,31*
		5	20,79	12,99		5,94
			22,82	14,26		3,24
		6	21,77	13,60		1,51
			20,75	12,96		6,12*
	36	13	26,81	16,75	16,31	2,73
			25,03	15,64		4,09
		14	26,7	16,68		2,31
			26,69	16,68		2,27
		15	25,26	15,78		3,21
	48	23	20,22	12,63	12,45	1,54
			18,70	11,68		6,09*
		24	21,64	13,52		8,67*
			20,25	12,65		1,69
		25	19,08	11,92		4,18
			19,59	12,24		1,62
10% RTCM	0	1	19,87	12,41	12,19	1,89
			16,68	10,42		14,47*
		4	20,78	12,98		6,55*
			17,25	10,78		11,55
		5	21,23	13,26		8,86*
			21,20	13,25		8,71*
	36	13	15,62	9,76	10,83	9,89*
			17,23	10,76		0,61
		14	16,65	10,40		3,95
			16,18	10,11		6,66*
		15	20,70	12,93		19,41*
			17,63	11,01		1,70

CP1 = corpo-de-prova. *Desvios acima de 6%

APÊNDICE E – Determinação da compressão axial individuais e médias aos 28 dias (MC).

COMPRESSÃO (VELOCIDADE 500N/S) 28 DIAS						
Adição	Estabilização (hrs)	CP	Força (KN)	Resistência calculada (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio relativo (%)
10% MC	0	4	21,7	13,6	11,60	16,88*
			18,2	11,4		1,86
		5	18,3	11,4		1,64
			19,2	12,0		3,47
		6	17,8	11,1		4,28
			16,2	10,1		12,57*
	36	13	15,7	9,8	11,10	11,55*
			16,1	10,1		9,42*
		14	18,2	11,3		2,18
			20,2	12,6		13,66*
		15	19,2	12,0		8,14*
			17,2	10,8		3,00
	48	23	36,1	22,6	19,59	15,31*
			37,1	23,2		18,21*
		24	29,1	18,2		7,15*
			26,1	16,3		16,82*
		25	36,2	22,6		15,37*
			34,0	21,3		8,61*
20% MC	0	4	16,7	10,4	12,10	13,77*
			19,2	12,0		0,86
		5	19,7	12,3		1,72
			20,3	12,7		4,82
		6	22,2	13,9		14,63*
			18,1	11,3		6,54*
	36	12	13,8	8,6	10,52	17,97*
			21,2	13,3		26,00*
		14	16,1	10,1		4,31
			16,2	10,1		3,71
	48	23	25,2	15,8	15,34	2,69
			24,2	15,1		1,38
		24	23,5	14,7		4,24
			23,2	14,5		5,46
		25	26,6	16,6		8,39*

CP1 = corpo-de-prova. *Desvios acima de 6%

APÊNDICE F – Determinação da tração na flexão individuais e médias aos 28 dias.

TRAÇÃO NA FLEXÃO (VELOCIDADE 50N/S) 28 DIAS						
Adição	Estabilização (hrs)	CP	Força (KN)	Resistência calculada (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio relativo (%)
SEM ADIÇÃO	0	4	1,87	4,38	4,34	0,90
		5	1,93	4,52		4,14
		6	1,76	4,13		5,04
	36	13	2,27	5,32	5,30	0,44
		14	2,22	5,20		1,77
		15	2,29	5,37		1,33
	48	23	1,08	2,53	2,72	6,90*
		24	1,13	2,65		2,59
		25	1,27	2,98		9,48*
10% RTCM	0	1	1,58	3,70	3,367	9,98*
		4	1,39	3,26		3,25
		5	1,34	3,14		6,73*
	36	13	1,61	3,77	3,641	3,65
		14	1,57	3,68		1,07
		15	1,48	3,47		4,72
	48	-	-	-	-	-
		-	-	-		-
		-	-	-		-
10% MC	0	4	1,15	2,70	2,56	5,18
		5	1,07	2,51		2,13
		6	1,06	2,48		3,05
	36	13	1,28	3,00	3,08	2,66
		15	1,35	3,16		2,66
	48	23	2,1	4,92	5,56	11,52*
		24	2,51	5,88		5,76
		25	2,51	5,88		5,76
	20% MC	0	4	1,23	2,88	2,95
5			1,5	3,52	19,05*	
6			1,05	2,46	16,67*	
36		12	1,39	3,26	3,29	0,95
		13	1,24	2,91		11,64*
		14	1,58	3,70		12,59*
48		23	1,05	2,46	2,40	2,61
		24	1,04	2,44		1,63
		25	0,98	2,30		4,23

CP1 = corpo-de-prova. *Desvios acima de 6%

APÊNDICE G – Determinação da densidade de massa aparente individuais e médias aos 28 dias.

DENSIDADE DE MASSA APARENTE - ENDURECIDO									
Adição	Estabilização (hrs)	CP	L (cm)	H (cm)	C (cm)	Volume (cm)	Massa (g)	Densidade	Dm(kg/m³)
SEM ADIÇÃO	0	1	3,99	3,97	16,075	254,63	428,6	1,68	1688,44
		2	4	3,96	16,05	254,23	432,6	1,70	
		3	4	3,955	16,05	253,91	426,7	1,68	
	36	10	4	3,9525	15,965	252,41	433,4	1,72	1716,28
		11	4	3,9225	15,94	250,10	430,1	1,72	
		12	3,99	3,9825	15,99	254,08	435,00	1,71	
	48	20	4,02	4,02	16,02	258,89	472,40	1,82	1824,84
		21	4,01	4,02	16,05	258,73	471,00	1,82	
		22	4,00	4,03	16,06	258,89	473,60	1,83	
10% RTCM	0	2	3,94	3,93	16,01	248,11	417,23	1,68	1711,70
		3	3,95	3,93	16,01	248,11	425,40	1,71	
		4	3,93	3,97	16,01	249,58	434,00	1,74	
	36	10	3,97	3,95	16,00	250,69	440,33	1,76	1735,85
		11	4,00	3,97	16,03	254,40	439,03	1,73	
		12	3,98	3,96	16,12	254,54	439,17	1,73	
	48	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	
10% MC	0	1	4,02	4,03	16	258,89	454,5	1,76	1744,87
		4	4,05	4,05	16	262,44	454,4	1,73	
		3	4,03	4,06	16	261,79	457,5	1,75	
	36	10	4,02	3,94	16	253,42	442,90	1,75	1758,76
		11	4	3,91	16	250,24	443,47	1,77	
		12	4	3,965	15,99	253,60	445,43	1,76	
	48	20	4	3,89	15,92	247,72	443,17	1,79	1772,52
		21	4	3,92	15,93	249,78	442,07	1,77	
		22	4	3,95	15,96	252,17	443,50	1,76	
20% MC	0	4	4	3,87	16	247,68	456,6	1,84	1835,17
		5	4	4,07	16	260,48	468,9	1,80	
		6	4	3,81	16	243,84	454	1,86	
	36	13	4	4	16	256,00	470,5	1,84	1849,23
		14	4	4	16	256,00	473,7	1,85	
		15	4	4,01	16	256,64	477,20	1,86	
	48	20	4	4,01	16	256,64	481,80	1,88	1871,11
		21	4	4,03	16	257,92	481,90	1,87	
		22	4	4	16	256,00	478,10	1,87	

CP = corpo de prova; L= largura; H= altura; C = Comprimento; Dm = densidade média

APÊNDICE H – Determinação da absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade individuais e médias aos 28 dias.

Adição	Estabilização (hrs)	CP	Mi	M10	M90	A10	A10 MED	A90	A90 MED
SEM ADIÇÃO	0	1	428,6	430,4	432,7	0,112	0,100	0,256	0,246
		2	432,6	433,9	436,5	0,081		0,244	
		3	426,7	428,4	430,5	0,106		0,238	
	36	10	433,4	434,5	437,1	0,069	0,075	0,231	0,252
		11	430,1	431,4	434,3	0,081		0,262	
		12	435,0	436,2	439,2	0,075		0,262	
	48	20	472,40	472,90	473,60	0,031	0,027	0,075	0,077
		21	471,00	471,50	472,50	0,031		0,094	
		22	473,60	473,90	474,60	0,019		0,063	
10% RTCM	0	2	417,23	423,2	424,30	0,373	0,258	0,442	0,372
		3	425,40	430,2	432,50	0,300		0,444	
		4	434,00	435,6	437,7	0,100		0,231	
	36	10	440,33	444,3	445,00	0,248	0,258	0,292	0,362
		11	439,03	443,2	445,10	0,260		0,379	
		12	439,17	443,4	445,80	0,265		0,415	
	48	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-		-	
		-	-	-	-	-		-	
10% MC	0	1	454,5	455,8	458,6	0,081	0,081	0,256	0,228
		3	457,5	458,8	460,7	0,081		0,200	
	36	10	442,90	444,9	447,9	0,125	0,073	0,313	0,279
		11	443,47	444,4	448,7	0,058		0,327	
		12	445,43	446	448,6	0,036		0,198	
	48	20	443,17	444,6	446,2	0,090	0,095	0,190	0,218
		21	442,07	443,5	445,9	0,090		0,240	
		22	443,50	445,2	447,1	0,106		0,225	
	20% MC	0	1	436,5	436,9	437,3	0,025	0,021	0,050
2			457,5	457,9	458,4	0,025	0,056		
3			450	450,2	450,5	0,012	0,031		
36		11	469,6	470	470,8	0,025	0,025	0,075	0,075
		15	476,1	476,5	477,3	0,025		0,075	
48		20	481,8	482,8	483,2	0,063	0,056	0,087	0,092
		21	481,9	482,9	483,6	0,063		0,106	
		22	478,1	478,8	479,4	0,044		0,081	

CP = corpo-de-prova; Mi = massa inicial; M10 = massa aos 10 min; M90 = massa ao 90 min; A10 = absorção aos 10 min; A90 = absorção aos 90 min;