

DESENVOLVIMENTO DE PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM INCORPORAÇÃO DO LODO PRIMÁRIO DA INDÚSTRIA DE PAPEL DE CELULOSE

Nome da Instituição: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)

Nome do trabalho: Desenvolvimento de Placas Cimentícias Reforçadas com Incorporação do Lodo Primário da Indústria de Papel de Celulose.

Curso: Engenharia Civil

Nível: Doutorado

Nome do autor: Afonso Rangel Garcez de Azevedo

Orientador: Prof. Jonas Alexandre (D.Sc.)

Avaliador: Prof. Gustavo de Castro Xavier (D.Sc.)

RESUMO

As placas cimentícias são estruturas finas (entre 6 a 40 mm) que tem na sua composição uma argamassa que pode ou não ser reforçada, sejam com pequenas barras e fios de aço, ou outro material. A indústria de papel e celulose, que está em constante crescimento, sendo responsável pela geração de uma grande quantidade de resíduos em suas etapas de produção que, geralmente, se dispõem em Estações de Tratamento de Efluentes para um posterior destino, como aterros sanitários, o que acaba onerando os custos finais do produto. Assim o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de placa cimentícia com estrutura de reforço que utiliza uma metodologia inovadora de beneficiamento e incorporação do resíduo proveniente da indústria de papel e celulose, atendendo o produto final as especificações normativas brasileiras e melhorando os padrões comerciais dos modelos já existentes. Para tanto foi elaborado um programa experimental que visou à caracterização dos materiais utilizados, desenvolvimento de uma metodologia de beneficiamento do resíduo utilizado, desenvolvimento do traço (ensaios de argamassa simples no estado fresco e endurecido, escolha do material de reforço e aditivos incorporadores de ar), definição e execução do processo de produção das placas (PRF, PTIAF e PTIF) e os respectivos ensaios de aceitação do produto final (resistência mecânica, tolerância geométrica, absorção de água, densidade aparente, permeabilidade, resistência ao fogo, variação dimensional e durabilidade). Os

resultados indicaram que o uso do resíduo na forma solubilizado em água (7,5% em solução de água), passando por peneiramento, denominado de líquido fino (PTIF), obteve os melhores resultados de conformação da placa, adotando o reforço com telas de plástico, atendendo aos critérios da norma brasileira. O uso de incorporadores de ar em combinação com o resíduo não apresentou resultados satisfatórios, principalmente quanto a resistência e durabilidade. Assim pode-se concluir que a metodologia adotada para incorporação e beneficiamento do resíduo da indústria de papel e celulose, em seu estado fino, com reforço de tela de plástico tem viabilidade no uso e produção de placas cimentícias para utilização na construção civil.

Palavras-chave: Beneficiamento, incorporação, papel, placa cimentícia.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, sendo um dos ramos mais influentes em termos sociais e econômicos, prova disso são os indicadores de empregabilidade do setor que representa cerca de 8% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). O setor sofreu nos últimos anos com a acentuada crise econômica que assolou o país, mas vem dando sinais de retomada devido ao retorno de programas sociais como o Minha Casa, Minha Vida do governo federal e os pacotes de privatizações de portos e aeroporto. Pode-se afirmar que, a atividade da construção civil, é uma das maiores consumidoras de recursos naturais do planeta, tanto na fabricação dos materiais aplicados, como no processo construtivo; areias, calcário, argila, água e energia são altamente consumidas em diferentes etapas (SAFIUDDIN et al, 2010).

Segundo MEHTA (1994) o segundo produto mais consumido do mundo atualmente é o cimento, perdendo apenas para a água. Há ainda o fato do ramo da construção civil ser um dos vilões no que se refere à poluição ambiental, a própria indústria cimenteira é altamente poluidora e causa uma infinidade de danos ambientais, prova disso são os altos índices de dióxido de carbono que são liberados na produção de cimentos e outros aglomerantes. (COSTA et al, 2013).

A indústria de papel e celulose mostra-se altamente diversificada e de grande importância visto sua forte abrangência em diferentes setores. Dados da BRACELPA (2017) mostram que o Brasil é um dos maiores produtores do mundo e contribui significativamente para a exportação deste produto, principalmente com a celulose. Uma das explicações é o grande mercado consumidor interno além de disponibilidade de grandes áreas para plantação de madeira, produto necessário à extração da celulose. A indústria papeleira tem um estigma

de ser altamente danoso ao meio ambiente devido à extração de recursos naturais como madeira, para extração da celulose, liberação de gases durante seu processo produtivo além de grande quantidade de resíduos sólidos em diferentes etapas do processo produtivo (BOHARB et al, 2017).

O Brasil destaca-se nesse setor pela implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, que é regida pela lei 12.305 de 2010 sendo considerado um marco regulatório do setor. Esta legislação trouxe um compilado de ideias, como por exemplo, a obrigatoriedade da execução do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), extinção dos vazadouros a céu aberto, ampliação dos conceitos de logística reversa e outros que fizeram o país figurar no mundo todo com uma legislação sólida e consolidada do setor de resíduos sólidos.

Embora haja vários estudos envolvendo a reciclagem de resíduos para fins de construção civil, muitas pesquisas ainda precisam ser desenvolvidas de modo a se obter informações sobre o comportamento e as propriedades destes materiais ao longo do tempo, inclusive buscando o aprimoramento das técnicas de reciclagem. Este entendimento possibilitará estabelecer a real relação entre reciclagem, desempenho tecnológico e ecologia, contribuindo na busca por desenvolvimento sustentável, amparando-o em fundamentos científicos (U.S. Environmental Protection Agency, 2017).

Dentre os diversos materiais de construção existentes pode-se destacar a argamassa como um dos mais utilizados, seja para revestimento ou para fim de assentamento de alvenarias. O estudo de novas técnicas de aplicação e de preparo de misturas é de extrema importância para as grandes construtoras e incorporadoras do país (AZEVEDO, 2015).

A argamassa armada é um material que tem grande aplicabilidade no setor da construção civil e vem sendo cada dia mais utilizada, nada mais é que uma argamassa (constituída de cimento e areia) com a presença de uma estrutura de reforço (podendo ser aço, plástico, fibras naturais e outros), geralmente destinada a elementos estruturais de pequena espessura, pois apresentam grande facilidade de manuseio e formatação (são elementos pré-moldados em geral), dispõe de algumas propriedades similares ao do concreto, entretanto devido a sua pequena espessura apresentam limitações como o tamanho do agregado utilizado e cobrimento, por exemplo, (TOPÇU e CANBAZ, 2015).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade do desenvolvimento de placas cimentícias reforçada, incorporando o lodo primário da indústria de papel e celulose in natura,

proveniente de uma indústria de papel localizada no Noroeste Fluminense. Apesar das variadas aplicações que podem ser dadas a esta placa, neste trabalho optou-se pela destinação como elementos de vedação, que ao longo deste texto será devidamente justificado, verificando-se a potencialidade de uso em espaços internos e/ou externos.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Caracterizar (física, química e mineralógica) os materiais utilizados nesta pesquisa de modo a permitir a escolha dos materiais adequados ao comportamento do compósito.
- Desenvolver metodologia inovadora que vise sua padronização para o beneficiamento e incorporação do resíduo da indústria de papel e celulose em materiais cimentícios.
- Identificar o melhor traço a ser utilizado, com as devidas proporções de materiais e usos de aditivos para adequação de propriedades do produto final.
- Definir a melhor estrutura de reforço para o produto final, de modo a atender as especificações normativas e de uso do produto final.
- Adequar as placas cimentícias para atendimento as normas de desempenho, possibilitando seu uso em larga escala na construção civil.
- Desenvolver uma metodologia para confecção das placas e delimitação de condições de produção de acordo com seu uso.
- Verificar o atendimento do produto final de acordo com as normas técnicas brasileiras quanto ao seu uso e durabilidade.

3. JUSTIFICATIVA

A busca por uma construção civil mais eficiente traz à tona alguns questionamentos acerca da atual metodologia construtiva empregada no país. O uso das tradicionais alvenarias de vedação apresenta diversos problemas, como a alta taxa de retrabalho devido à ausência de alinhamento vertical (prumo), custos demasiados com camadas de revestimentos (chapisco, emboço e reboco), além da geração de enormes resíduos com a passagem das instalações prediais, onde é necessária a quebra de parte da alvenaria. Há ainda, em alguns casos, algum problema relacionado ao desempenho termo acústico e o excessivo peso próprio, que dependendo do bloco a ser empregado pode ser inaceitável.

Existem estudos que abordam os custos inerentes ao desperdício gerado pelo uso de alvenarias com blocos cerâmicos, que podem chegar à ordem de 10% do custo do serviço de alvenaria. Sendo assim a busca por metodologias inovadoras que reduzam estes custos é de

extrema importância para o segmento da construção civil, racionalizando seus processos produtivos e aumentando a confiabilidade do setor.

A geração de resíduos sólidos municipais (RSM) é crescente no país, segundo dados da BRACELPA de 2017 a produção de resíduos sólidos no país foi de 78,3 milhões de toneladas, dos quais 58,40% foram encaminhados a aterros sanitários, mostrando como ainda é deficiente este setor. Quanto à cobertura da coleta dos resíduos sólidos, dados mostram que 91% dos domicílios recebem esta coleta (BRACELPA, 2017). Quanto à disposição dos resíduos coletados, os dados mostram que apesar da implementação da PNRS os vazadouros a céu aberto ainda representam significativa parte da destinação apresentando uma pequena redução entre os anos de 2015 e 2016.

O Brasil destaca-se no cenário mundial de produção de papel e celulose, dados da Associação Brasileira de Papel e Celulose (BRACELPA, 2017), mostram um constante ritmo de crescimento da produção de celulose, que tem como destino o mercado nacional e internacional, já quando se descreve a produção de papel os números sofrem uma redução, devido à exportação da celulose, que não é toda consumida no Brasil e a conversão que não se dá em 100%.

Logo este trabalho justifica-se sob a ótica da busca de materiais alternativos, ou melhor, metodologias construtivas inovadoras podem trazer significativa vantagem, como exemplo pode-se citar o Steel Frame ou divisórias simples de placas cimentícias, propiciar um destino adequado aos resíduos gerados nas indústrias de papel e celulose, que tem apresentado crescente evolução ao longo dos últimos anos, além de permitir a redução nos custos destas empresas que ao invés de destinar os resíduos em aterros sanitários, meio de disposição mais comum para esse material, será utilizado em outro processo produtivo, desde que verificado sua viabilidade financeira.

O resíduo gerado apresenta-se extremamente úmido quando gerado, assunto esse que será abordado de maneira mais detalhada adiante, o que acarreta em elevados custos para seu transporte ou até mesmo o seu beneficiamento tradicional para uso em materiais de construção, como cerâmicos ou cimentícios, sendo assim necessita-se do desenvolvimento de uma nova metodologia de beneficiamento e incorporação deste material tornando-o mais viável economicamente, justificando o seu estudo.

Há ainda a questão de aceitação de novos produtos frente à norma técnica brasileira de desempenho e de placas de fibrocimento das edificações, que estipulam parâmetros das edificações para possibilitar conforto aos usuários e comparação com os valores obtidos dos principais produtos comerciais.

4. METODOLOGIA

A Figura 1 mostra um fluxograma experimental do trabalho, com as principais etapas de sua execução.

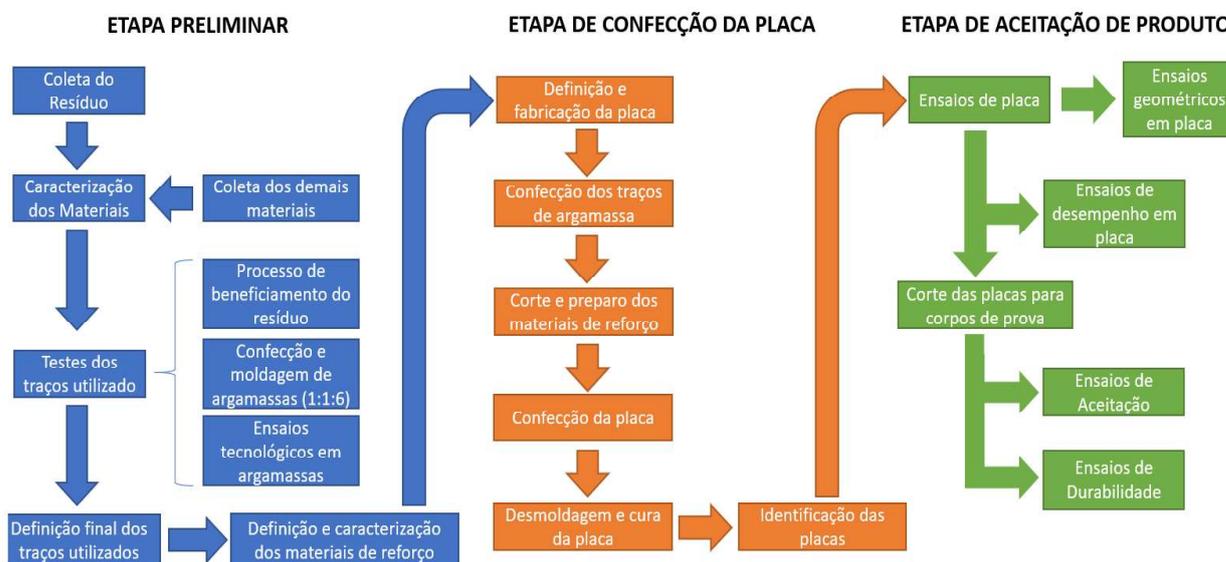


Figura 1 – Fluxograma das principais etapas de execução do trabalho.

FONTE: Próprio autor.

4.1 Materiais Utilizados:

O resíduo utilizado neste trabalho é um lodo oriundo do processo de produção de papel, que após ser coletado na planta industrial é direcionado para um tanque de decantação primário, é neste local que é devidamente coletado e direcionado, em seu estado natural, para o Laboratório de Engenharia Civil – LECIV da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF.

A argamassa utilizada neste trabalho é aquela constituída de cimento, cal e agregado miúdo, neste caso areia. O cimento utilizado é o CII E32, que é o cimento Portland com adição de escória de alto forno (comumente utilizado no Brasil), da marca Votorantin, adquirido no comércio varejista local. A escolha deste tipo de cimento deve-se ao fato de ser o mais utilizado na região além dos custos incidentes sobre ele, favorecendo a redução dos custos do produto final, sendo adquiridos em sacos de 50 Kg e tomando-se o cuidado de manter o mesmo lote e um correto armazenamento do mesmo, evitando casos de hidratação antecipada (empedramento).

Foi utilizada a cal hidratada do tipo III, denominada CHIII, da marca SuperCal, devido a ser a mais utilizada na região da pesquisa, além de mesma atender a todos os requisitos técnicos estipulados para este produto. A denominação da cal, segundo seu tipo CH I, II ou III

deve-se a quantidade de anidrido carbônico existente e outras restrições normativas, a CHIII apresenta a melhor relação custo-benefício, quanto ao seu custo e propriedades tecnológicas que pode oferecer a argamassa ao final. O agregado miúdo utilizado neste trabalho é uma areia quartzosa, proveniente da bacia de sedimentação do Rio Paraíba do Sul que foi devidamente lavada, homogeneizada e seca para o uso nos traços de argamassas.

Os aditivos são materiais utilizados em concretos e argamassas que conferem a estes a melhora de alguma propriedade, como a retenção de água, ar incorporado ou plasticidade da massa, em geral são relacionadas às propriedades no estado fresco, mas influenciam também o estado endurecido. Neste trabalho optou-se pelo uso de aditivo que conferem maior teor de ar incorporado em alguns traços, sempre os comparando com traços com e sem o aditivo. O uso foi motivado pela tentativa de redução da densidade do produto, melhorando sua aplicabilidade. O aditivo utilizado neste trabalho foi o SIKA AER[®] que é um aditivo utilizado em concretos e argamassa encontrado na rede de varejo local e que incorpora minúsculas bolhas de ar esféricas, de maneira uniforme a massa. Este aditivo atende a todas as exigências da NBR 11768/2011 que trata de aditivos para concretos e argamassas.

Quanto ao material de reforço optou-se pelo uso de dois tipos, as telas metálicas entrelaçadas e telas de polietileno plástico, para possibilitar a análise de qual será melhor para o produto final. As telas metálicas devem atender aos requisitos da NBR 10122/2014 que traz uma série de requisitos para seu uso e classificação, logo se optou pelo uso de produtos comerciais que são devidamente certificados quanto as exigências normativas, com malha de ½ polegada. Outro material de reforço que foi avaliado neste trabalho são as telas de polietileno de alta densidade, que são plásticos de elevada resistência e tem uma grande variedade de usos. São resistentes as intempéries e a ambientes mais agressivos pela sua própria constituição e vendidas em rolos de 50 metros.

4.2 Ensaio de Caracterização dos Materiais:

Neste trabalho optou-se pela caracterização dos materiais ditos não comerciais, ou seja, aqueles que sofrem com a variação de suas propriedades ou não são comumente utilizados, enquadrando-se neste caso a areia e o resíduo basicamente. Mesmo assim os demais materiais utilizados, como a cal hidratada, cimento e material de reforço são demonstradas e foram obtidas através de relatórios técnicos dos respectivos fabricantes.

Para a caracterização dos agregados miúdos foram realizados ensaios de granulometria, por peneiramento e sedimentação, onde a curva de distribuição granulométrica

foi determinada, segundo a prescrição da ABNT NBR 7181/2016, que consiste na combinação entre peneiramento e sedimentação do material.

Foi determinada a massa específica através da NBR 9775/2011, onde o procedimento prevê a colocação de água no frasco de Chapman até a marca de 200 ml, posterior adição de 500g do agregado miúdo seco em estufa no frasco de Chapman e agitação do mesmo, retirando-se as bolhas de ar, ao final procedeu-se anotando a leitura final no frasco.

Já a determinação da massa unitária no estado solto foi realizada utilizando-se a NBR NM 52/2009, considerando-se que a areia tinha o dobro do volume do recipiente utilizado onde foi lançado o agregado a uma altura de aproximadamente 10 a 12 cm do topo do recipiente, sendo regularizada a superfície com uma régua. Ao final, determinou-se a massa do agregado.

Já a porcentagem de vazios do agregado miúdo foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por MARGALHA et al. (2007). Para a execução do processo de caracterização do resíduo da indústria de papel e celulose foi necessário beneficiá-lo pelo processo tradicional de secagem e moagem. Assim o material foi seco em estufa por um período mínimo de 24 horas a uma temperatura de aproximadamente 100 °C, após esse período verificou-se a estabilização da massa do material através de pesagem sucessivas no intervalo de 1 hora. Logo após foi levado para a moagem em um moinho de bolas, com 30 rotações por minuto com corpos moedores de aço, atendendo as especificações da NBR NM 51/2001.

Sendo assim foi realizado o peneiramento através do método de peneiramento padronizado pela ABNT, onde se obteve a porcentagem de material retido na série de peneiras, segundo a prescrição da ABNT NBR 7181/2016. Além do ensaio de granulometria foi determinada a massa específica pela norma NBR NM 52/2002, e umidade pelo método gravimétrico, realizado em triplicata. Para a determinação da pozolanicidade do resíduo optou-se pela metodologia de LUXÁN et al (1989), que através do ensaio de condutividade elétrica, método que mede a evolução da atividade pozolânica.

A composição química do resíduo foi obtida por meio da técnica de Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDX) em um equipamento (Shimadzu, EDX700, Japão), sob condição de ajuste de vácuo de dois canais com o material em pó finíssimo foi colocado no porta amostra.

O resíduo foi submetido a difração de raio-X com uso do equipamento (Shimadzu, XRD700, Japão), com radiação Cu-K α , com 40 kV e 30 mA. A varredura foi efetuada com θ variando entre os ângulos de 5° a 80° com velocidade de varredura de 2°/minuto, assim com o

padrão de difração de raios-X foi obtido por meio do programa Excel o gráfico e comparado com valores de fichas Joint Comitee of Powder Diffraction Standards (JCPDS) foi possível fazer a identificação dos minerais presentes.

A caracterização da cal e do cimento não foi realizada devido ao fato dos materiais serem comerciais e os garantem um rigoroso processo de produção, por isso suas caracterizações são comumente fornecidas pelos seus fabricantes.

Os materiais utilizados como mecanismos de reforço, que foram as telas metálicas e de plástico, foram devidamente identificados e caracterizados, quanto à abertura da malha e resistência a tração, que foram realizados segundo as normas técnicas nacionais para este fim. O ponto de amolecimento foi observado nos ensaios realizados em conjunto com a placa cimentícia.

4.3 Beneficiamento do Resíduo para Utilização:

O resíduo é formado por uma lama muito úmida de coloração cinza cuja composição é em grande parte de caulim e celulose, chamada de lodo. Um dos grandes desafios no uso deste material, principalmente em cimentícios, é a sua elevada umidade e ser processo de beneficiamento, que se for feito pela maneira tradicional, que consiste em secagem, moagem e peneiramento é extremamente caro e oneroso para as indústrias.

Assim, nesta tese, optou-se pelo desenvolvimento de uma metodologia padrão para uso do material de forma que possibilite seu uso em estado líquido dentro da argamassa. Este processo consistiu na determinação do coeficiente de solubilidade do resíduo (soluto) para a água (solvente) de modo que reduza a formação do corpo de fundo.

Outro fator importante é a temperatura do local de processamento, visto que a mesma interfere na velocidade da reação e pode gerar custos, assim optou-se pelo uso de todo o processo em temperatura ambiente (em torno de 23 °C), mesmo considerando que esse aumento agregaria maior quantidade de resíduo.

Assim foi desenvolvida a curva de solubilização do resíduo de beneficiamento do papel *in natura* em relação à água, disponível na rede de fornecimento, onde encontrou-se o percentual de material que pode ser misturado a água. Assim o processo de beneficiamento consistiu na mistura de 90 gramas de resíduo no seu estado natural (*in natura*) com 1 litro de água natural, coletada da rede de fornecimento do município, chegando-se a um nível de 9% de incorporação, o processo de mistura foi feito com um misturador automatizado com rotação constante durante um período de 2 minutos aproximadamente, gerando uma água em coloração cinza e visualmente mais densa.

Com o líquido gerado optou-se por trabalhar em duas situações, a primeira é o uso desta mistura logo após o processo de beneficiamento (chamado ao longo do trabalho de líquido grosso) e outra que consistiu no seu peneiramento em peneira número 20 (serie ABNT), gerando outro subproduto (uma nova lama, menos densa), este segundo tipo foi denominado ao longo do trabalho de líquido fino.

Após o processo de beneficiamento dos dois tipos, foi determinada a porcentagem final de resíduo presente dentro da mistura, através da secagem de uma quantidade padrão em estufa e pesagem do material restante, a mistura denominada como líquido grosso apresentou cerca de 9% de presença de resíduo enquanto a de líquido fino apresentou um valor de cerca de 7,5%, essa redução deve-se a parte do material retido na peneira.

Tomou-se todo o cuidado no processo de beneficiamento para padronizar o processo e tentar chegar a líquidos normatizados, evitando variações nos traços. Esses líquidos foram utilizados no traço como a quantidade de água na mistura, assim foi necessária a execução de todos os ensaios tecnológicos de modo a caracterizar a argamassa com esse novo líquido, que desempenhou papel específico na matriz.

4.4 Determinação do Traço a ser Utilizado:

A determinação dos traços a serem utilizados considerou três variáveis principais:

- O traço típico da região para argamassas;
- O uso ou não de aditivo incorporador de ar, proporcionando redução do peso específico da placa;
- Quanto ao tipo de substituição feita na água de amassamento (líquido fino ou grosso).

Assim foi levado em conta cada variável na definição do traço, a primeira quanto ao traço típico da região, onde encontram-se argamassas dosadas com proporção em massa de 1:1:6 (cimento: cal: areia), este traço além do fato de ser muito utilizado garante uma relação custo-benefício considerável, pelos dados da literatura, além de atender aos parâmetros tecnológicos, segundo diversos estudos realizados (AZEVEDO, 2015).

Quanto ao uso do aditivo incorporador de ar utilizou-se uma relação fixa de 0,5% em relação a massa de cimento, esse valor foi determinado dados da literatura, pois valores excessivos comprometem a qualidade final do produto (ALVES, 2002).

Quanto ao material de reforço durante a execução deste trabalho fixou-se dois tipos de materiais, as telas metálicas e de plástico, entretanto para a execução dos ensaios tecnológicos em argamassas, visando obter o melhor traço, esta variável foi desconsiderada. É há ainda os

dois tipos de líquidos que serão utilizados, que serão incorporados na argamassa em substituição à água, o líquido denominado de fino e grosso.

Assim a Tabela 1 mostra a distribuição dos traços e seus respectivos condicionantes.

Tabela 1 – Tabela demonstrativa dos traços para realização dos ensaios tecnológicos em argamassas.

Nomenclatura do Traço	Cimento	Cal	Areia	Incorporador de ar*	Tipo de incorporação
REF**	1	1	6	-	-
TIF	1	1	6	-	Fino
TIG	1	1	6	-	Grosso
TIAF	0,995	1	6	0,005	Fino
TIAG	0,995	1	6	0,005	Grosso

*Em relação à massa de cimento

** Neste traço, denominado de referência, utilizou-se água normal e não há nenhum tipo de adição.

A Tabela 1 demonstra somente os traços utilizados para a os ensaios tecnológicos, que foram realizados nas argamassas, em corpos de prova prismáticos e de acordo com seus respectivos resultados foi determinado os melhores traços para execução das placas.

4.5 Ensaios de Argamassa Simples no Estado Fresco:

Todas as argamassas foram produzidas seguindo a NBR 13276/2005 e os ensaios realizados no estado fresco (Tabela 2) e os traços em que foram executados (Tabela 1) são mostrados.

Tabela 2 - Ensaios realizados no estado fresco e suas respectivas normas técnicas.

Ensaios	Norma
Índice de Consistência	13276 (ABNT, 2016)
Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco	13278 (ABNT, 2005)
Retenção de água	13277 (ABNT, 2005)
Avaliação reológica por squeeze-flow	15839 (ABNT, 2010)

As propriedades que foram avaliadas no estado fresco mostram-se extremamente importante ao desenvolvimento de um produto aceitável, pois contribuem para a capacidade

de adensamento da massa na fôrma utilizada para produção de placa cimentícia e impacta do seu estado endurecido, como o teor de ar incorporado e retenção de água.

4.6 Ensaio em Argamassa Simples no Estado Endurecido:

Outra sequência de ensaios desenvolvida refere-se à execução dos mesmos no estado endurecido, onde será utilizada a NBR 13276/2005. Após a confecção da argamassa foram preparados corpos de prova de acordo com a NBR 13279/2005, que descreve a aparelhagem necessária, em moldes prismáticos metálicos, que formam três compartimentos quando montados, servindo de molde para três corpos-de-prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm cada. Os ensaios que foram executados na argamassa no estado endurecido e suas respectivas normas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos ensaios e respectivas normas de argamassa no estado endurecido.

Ensaio	Norma
Resistência à tração na flexão	13279 (ABNT, 2005)
Resistência à compressão axial	13279 (ABNT, 2005)
Coefficiente de capilaridade	15259 (ABNT, 2005)
Densidade de massa no estado endurecido	13280 (ABNT, 2005)

4.7 Ensaio em Placas Cimentícias:

Os ensaios em placa destinam-se a validação final da hipótese apresentada nesta tese e são em maioria baseadas na NBR 15495/2016, uma norma relativamente nova que abrange placas cimentícias com materiais de reforço, sem amianto.

Assim para a execução desta etapa dividiu-se as placas em dois grupos, aqueles que os ensaios foram realizados com a placa inteira, em seu tamanho real (como tolerância geometria e resistência ao fogo) e outros realizados em corpos de prova, oriundos do processo de corte da placa, que serão descritos mais a frente (resistência mecânica, absorção de água, permeabilidade, densidade aparente e de durabilidade).

4.7.1 Confecção das Placas Cimentícias:

O processo de confecção da placa cimentícia iniciou-se pela determinação do tamanho que a placa deveria possuir levando-se em conta o caráter de vedação que se pretende como produto, assim estipulou-se a confecção de placas medindo 46 cm x 46 cm onde as junções

foram feitas utilizando-se uma estrutura metálica auxiliar, essa dimensão deve-se ao fato de facilitar o corte para execução dos corpos de prova. A adoção desta medida teve caráter demonstrativo para execução em escala laboratorial, mas seus resultados podem ser perfeitamente extrapolados para tamanhos maiores.

A norma técnica brasileira que versa sobre esse tema não estipula tamanhos, somente faz recomendações quanto a espessura, que não deve ser superior a 3 cm, e define como placa o produto resultante da mistura de Cimento Portland, agregados, adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto.

Assim quanto a dimensão a placa moldada utilizada neste trabalho tem 46 cm x 46 cm x 2 cm. Para o processo de moldagem foi necessário a confecção de uma forma que atendesse as dimensões estipuladas deixando a mínima margem de tolerância possível, assim foram confeccionadas fôrmas metálicas com estrutura de suporte e com laterais moveis, conforme pode ser vista na Figura 2, a opção pelo material metálico, apesar de mais pesado, deve-se ao fato de prover maior rigidez na etapa de moldagem, evitando possíveis empenamentos.

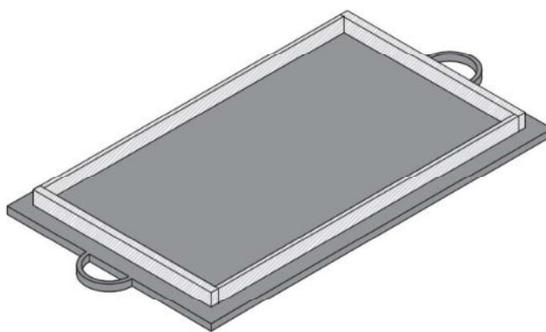


Figura 2 – Esquema proposto para forma metálica.

FONTE: Próprio Autor.

De posse das formas iniciou-se o processo de moldagem que consistiu na limpeza da forma, passagem de desmoldante comercial para formas metálicas, confecção da argamassa segundo o traço desejado, seguindo toda metodologia da norma. O processo de preenchimento da forma pela argamassa foi executado sob mesa vibratória, tendo-se o cuidado de evitar segregação, evitando-se a formação de falhas de moldagem (chamadas popularmente de brocas) que podem afetar as propriedades avaliadas.

O material de reforço foi previamente cortado (no tamanho do molde) e colocado na posição mediana da forma, garantindo sua proteção através da camada de cobertura de argamassa (matriz protegendo o reforço). Logo após todo o preenchimento foi feito o arrasamento da forma com régua metálica padronizada e plana, evitando ondulações

superficiais e defeitos estéticos. Um cuidado adicional foi tomado no preenchimento da região de arestas internas, evitando que seja um ponto preferencial de quebra no manuseio da placa.

Concluído o processo de moldagem as placas permaneceram em superfície rígida com o mínimo de movimentação possível, por um período de 4 dias, onde este período foi determinado através de tentativas através das execuções de testes, para somente depois passarem pelo processo de desforma. Este processo foi realizado com perícia para evitar quebras e fragilizações do produto. A cura das placas foi feita com exposição ao ar à temperatura ambiente para após 28 dias serem respectivamente ensaiadas, segundo programa experimental.

Quanto aos traços utilizados para a confecção da placa cimentícia com reforço escolheu-se dentre os resultados apurados nos ensaios tecnológicos de argamassa qual teria uma melhor tendência de atender aos requisitos mínimos da norma para o produto, sendo assim são possíveis combinações de traço os mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Possibilidades de traço das placas cimentícias.

Nomenclatura do Traço	Cimento	Cal	Areia	Incorporador de ar*	Tipo de incorporação	Material de reforço
TRP1	1	1	6	-	-	Plástico
TRP2	1	1	6	-	-	Metálico
TRP3	1	1	6	-	Fino	Plástico
TRP4	1	1	6	-	Fino	Metálico
TRP5	1	1	6	-	Grosso	Plástico
TRP6	1	1	6	-	Grosso	Metálico
TRP7	0,95	1	6	0,50	-	Plástico
TRP8	0,95	1	6	0,50	-	Metálico
TRP9	0,95	1	6	0,50	Fino	Plástico
TRP10	0,95	1	6	0,50	Fino	Metálico
TRP11	0,95	1	6	0,50	Grosso	Plástico
TRP12	0,95	1	6	0,50	Grosso	Metálico

4.7.2 Ensaio em Placas:

Para a execução deste ensaio a NBR 15498/2016 estipula uma rotina para a medição das placas, utilizou-se neste ensaio duas réguas metálicas em ângulo reto ao longo das bordas de superfície de controle, tendo uma linearidade de $\pm 0,30$ mm/m e menos que 1 mm de desvio por metro. Em alguns casos foram utilizados esquadros metálicos mantendo-se as mesmas restrições anteriores.

Outra régua graduada fez-se necessário para medidas das maiores dimensões (largura e comprimento) além de um micrômetro com resolução de ao menos $\pm 0,05$ mm, com discos metálicos planos de 10 mm a 15 mm de diâmetro para medidas da espessura.

Quanto às placas foram corrigidas as rebarbas para garantir que as medições tenham coerência e realizadas para cada dimensão (largura e comprimento) três medidas (uma central e duas a 50 mm das laterais), já para a espessura foram realizadas seis medidas ao menos 20 mm das bordas, sendo no mínimo três de cada lado.

Assim de posse dos valores foi calculada a média das dimensões geométricas. Outra análise quanto à geometria das placas foi à questão da linearidade das bordas, importante característica para a aplicabilidade do produto final, assim este ensaio baseou-se em medir, com a régua graduada em milímetros, a distância máxima que existe entre a borda da placa e o braço do esquadro, e por último foi realizado e medida do desvio do esquadro, neste ensaio mediu-se o desvio total das laterais da placa, atentando-se as tolerâncias da norma.

Para o ensaio de permeabilidade nas placas, que foi realizado com a placa em tamanho real, foram necessárias no mínimo três amostras para validação, sempre após o respectivo tempo de cura. Assim foi desenvolvida uma caixa de acrílico devidamente selado na parte superior da placa, que deve ficar elevada (em média 600 mm) para possibilitar a visualização da mesma. A norma recomenda que seja deixado um espaço nas laterais das bordas.

Após a selagem da caixa deve-se encher o recipiente com um nível de 20 mm acima da superfície da placa (valor mínimo pela norma), e deixou o conjunto a uma atmosfera controlada com temperatura (23 ± 10) °C e umidade relativa de (50 ± 20) % durante um período de 24 horas.

Após esse período foram retiradas fotografias para análise da face inferior da placa, comparando-o com os resultados anteriores, segundo a NBR 15498/2016 pode-se permitir a formação de umidade nesta face, mas em nenhum caso pode-se considerar aceito placas que formem gotas de água, sendo estas rejeitadas nesta análise.

Para a resistência ao fogo nas placas optou-se pelo uso da NBR 9442/1986 que é utilizada para a determinação da propagação de chama de materiais de construção utilizando-

se o método do painel radiante. Assim o ensaio resulta na determinação do fator de propagação de chama desenvolvido na superfície do material (P_c), que foi medido através do tempo para atingir as distâncias padronizadas no suporte metálico com os corpos de prova, e o fato de evolução de calor desenvolvido pelo material (Q), medido através de sensores de temperatura (termopares). O índice de propagação superficial de chama é dado pela Eq. A:

$$I_p = P_c \times Q \quad (\text{Eq. A})$$

I_p = Índice de propagação superficial de chama;

P_c = Fator de propagação de chama;

Q = Fator de evolução do calor.

Na sequência foram realizados ensaios em corpos de prova, que foram retirados das placas confeccionadas, seguindo toda a prescrição da NBR 15498/2016 que determinada que estes ensaios sejam realizados com corpos de prova. Subdividiu-se em dois grupos, os ensaios de aceitação, que englobam a resistência a tração na flexão (em equilíbrio e saturado), absorção de água, densidade aparente, variação dimensional e os de durabilidade que são imersões em ciclos de molhagem e secagem.

Assim para a confecção dos corpos de prova a norma recomenda que sejam retirados quatro corpos de prova em cada placa a ser ensaiada, sendo dois para ensaios na direção transversal e dois na longitudinal, procedendo a sua respectiva identificação. Um dos critérios utilizados para a determinação do tamanho da placa foi possibilitar uma redução do corte a ser feito nas placas.

Para placas com espessura entre 9 mm e 30 mm os corpos de prova podem ser quadrados ou retangulares, optou-se por corpos de prova quadrados com 23 cm x 23 cm. Para o corte dos corpos de prova na placa fez-se a devida marcação de maneira e dividi-la em quatro partes de igual tamanho.

Quando falamos de placas cimentícias, a resistência à flexão simples mostra-se como um importante parâmetro a ser analisado, e sua resistência é um condicionante as dimensões da placa e sua respectiva aplicação. Este método de cálculo utiliza uma determinada carga aos 28 dias após a moldagem das placas, expresso pela Eq. B:

$$R_f = \frac{3 \times P_{max} \times L}{2 \times b \times e^2} \quad (\text{Eq. B})$$

R_f = Resistência à tração na flexão (Mpa);

P_m = Carga máxima de ruptura por flexão (N);

L = Distância entre os eixos (mm);

b = largura dos corpos de prova (mm);

e = espessura média (mm).

A distância entre os eixos do suporte para o ensaio foi fixada em 210 mm seguindo orientação da NBR 15498/2016. Assim a resistência à tração na flexão da placa foi a média aritmética dos quatro valores encontrados, no estado de equilíbrio e saturado. O ensaio foi realizado na prensa EMIC 23-1MN DE 100.000 kgf com uma velocidade de carregamento de (50 ± 10) N/s.

Para a execução do ensaio de absorção de água a NBR 15498/2016 exige ao menos quatro corpos de prova com área superficial de pelo menos 20 cm^2 que podem ser resultantes do processo de ruptura mecânica, desde que de regiões não danificadas. Sendo assim verificou-se que todas as partes dos corpos de prova resultantes da ruptura atendem a esse critério, sendo totalizados para este ensaio quatro corpos de prova para cada traço.

A execução deste ensaio foi relativamente simples, onde colocou-se os corpos de prova submerso em água e determinou sua massa (m_i), logo após os mesmos foram colocados em estufa para secagem mantidos à temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, ou até massa constante (variação inferior a 0,1 %), onde determinou-se outra massa (m_f). Duas medidas de massa consecutivas devem ser obtidas observando um intervalo de pelo menos 1 h entre elas. Assim determinou-se a absorção de água através da Eq. C:

$$AA = \left(\frac{m_i - m_f}{m_f} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. C})$$

AA = Absorção de água (%);

m_i = massa inicial suturada (g);

m_f = massa final seca (g).

Para a execução deste ensaio segue-se a mesma normativa de extração de corpos de prova para a absorção de água de água, onde se exige ao menos quatro corpos de prova com área superficial de pelo menos 20 cm^2 que podem ser resultantes do processo de ruptura mecânica. Sendo assim verificou-se que todas as partes dos corpos de prova resultantes da ruptura atendem a esse critério, sendo totalizados para este ensaio quatro corpos de prova para cada traço.

O ensaio consistiu-se em saturar os corpos de prova por um período mínimo de 24 h, retirar as amostras de água após esse período e enxugar a superfície com um pano úmido

determinado à massa úmida saturada (m_u) pela pesagem direta. Logo após determinar a massa imersa (m_i) através de balança com dispositivo hidrostático.

Posteriormente colocaram-se os corpos de prova em estufa para secagem mantida à temperatura de 100 °C por 24 h, ou até massa constante (variação inferior a 0,1 %), onde se determinou outra massa (m_f), teve-se o cuidado de fazer duas medidas de massa consecutivas devem ser obtidas observando um intervalo de pelo menos 1 h entre elas.

O volume (V) foi determinado pela diferença entre a massa úmida saturada (m_u) e a massa imersa (m_i), expressada em centímetro cúbicos (cm^3), considerando a densidade da água igual a 1,0 g/cm^3 . Assim determinou-se a densidade aparente através da *Eq. D*:

$$\rho = \frac{m_f}{V} \quad (\text{Eq. D})$$

ρ = densidade aparente (g/cm^3);

m_f = massa do corpo de prova após secagem (g);

V = volume do corpo de prova (cm^3).

O procedimento do ensaio de ciclos de molhagem e secagem consistiram na imersão dos corpos de prova em tanque de água a temperatura ambiente e posterior colocação em estufa, a uma temperatura de 100 °C em média, para secagem, completando-se assim um ciclo.

A duração das etapas de um ciclo depende de alguns critérios e do material a ser avaliado, assim como o número de ciclos que devem ser executados, para posterior avaliação das propriedades, que podem ser a massa do material (perda de massa), resistência mecânica ou outra propriedade conveniente.

Para a realização deste ensaio, a NBR 15498/2016 estipula uma amostragem de dez placas inteiras, das quais foram extraídos corpos de prova da mesma dimensão dos demais ensaios relatados em pares, totalizando-se assim dez pares de corpos de prova, tendo os pares a mesma numeração para efeito de comparação. Procedeu-se separando os pares, formando-se assim dois lotes de dez corpos de prova cada, onde o primeiro lote foi submetido a ensaios de resistência à tração na flexão no estado saturado, sem nenhum tipo de ciclo, e o segundo lote foi submetido a 50 ciclos de molhagem e secagem.

Cada ciclo teve a imersão em tanque de água à uma temperatura ambiente (entre 5°C e 40°C) durante um período de 18 h e posteriormente foi colocado em estufa ventilada a temperatura de (60 ± 5) °C e umidade relativa inferior a 20% durante um período de 6 h. Após a execução dos 50 ciclos os corpos de prova foram submetidos a ensaio de resistência à tração

na flexão no estado saturado, possibilitando comparação com os valores encontrados no outro lote. Assim com os resultados obtidos, procedeu-se com o calculo relativo a cada par de corpos de prova, de maneira individual, segundo a Eq. E.

$$r_i = \frac{R_{fi}}{R_{fci}} \quad (Eq. E)$$

r_i = é o resultado individual de envelhecimento acelerado por ciclos de imersão/secagem do i-ésimo corpo de prova;

R_{fi} = é a resistência à tração na flexão do i-ésimo corpo de prova após os ciclos de imersão/secagem, expressada em MPa;

R_{fci} = é a resistência à tração na flexão do i-ésimo corpo de prova de referência (primeiro lote), expressada em Mpa.

O ensaio de variação dimensional visou aferir a capacidade de alteração das dimensões nominais dos corpos de prova em situação de imersão em água e secagem. Assim para a execução deste ensaio a NBR 15498/2016 recomenda a retirada de quatro corpos de prova de cada placa medindo 100 mm x 200 mm, sendo os mesmos identificados com a direção longitudinal da placa.

Para a execução do ensaio mediu-se os corpos de prova na posição central e posteriormente emergiu-os em água, mantendo-os nesta condição durante um período de 24 h, após esse período os mesmos foram retirados, secados superficialmente, e retirada as medidas na região central (l_i), posteriormente colocou-se os mesmo em estufa durante 24 h à temperatura de 100 °C a 110 °C, ou até massa constante (variação inferior a 0,1 %), quando duas medidas de massa consecutivas devem ser obtidas, observando um intervalo de pelo menos 1 h entre elas. Retirou-se os corpos de prova da estufa, esperando o mesmo atingir a temperatura ambiente, onde efetuou-se nova medição na mesma posição anterior (l_f).

Os valores da variação dimensional por umidade devem ser obtidos pela média aritmética dos quatro valores obtidos (dois em cada direção), conforme a Eq. F:

$$v = \frac{l_i - l_f}{l_f} \quad (Eq. F)$$

v = variação dimensional (%);

l_i = comprimento inicial (mm);

l_f = comprimento final (mm).

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização dos Materiais:

A Figura 3 mostra o resultado do ensaio de caracterização física do agregado miúdo.

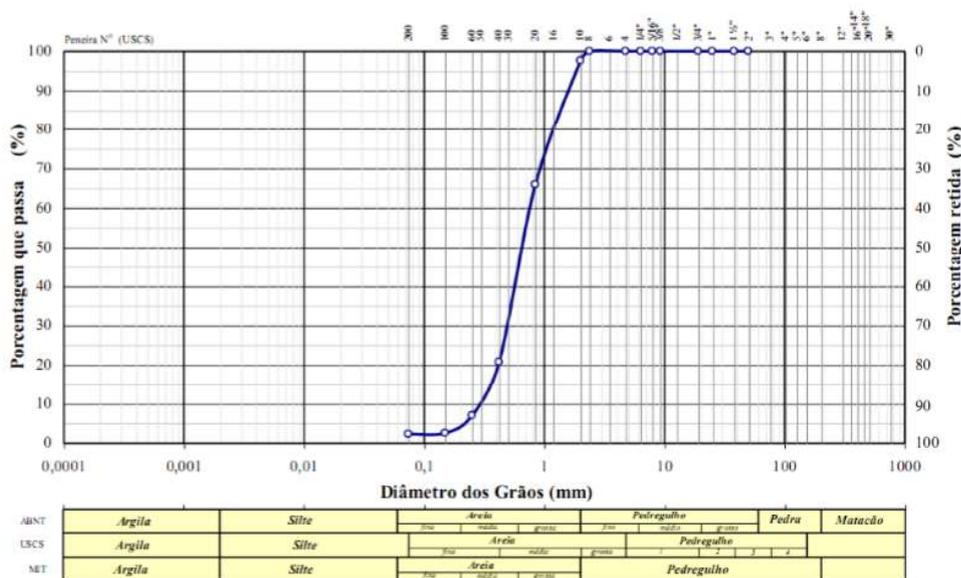


Figura 3 – Resultado do ensaio de granulometria da areia utilizada.

O resultado expresso pela Figura 3 mostra que a areia utilizada é constituída de 56% de areia grossa, 37% média, pouco mais de 3% de areia fina e 3% de fração silte. A NBR 7211/2009 faz considerações acerca das faixas granulométricas que os agregados miúdos devem possuir para serem utilizados em concretos e argamassas, e com os resultados encontrados no ensaio de granulometria juntamente com os estipulados pela norma (limite inferior e superior) constatou-se a viabilidade do seu uso,

Outros importantes ensaios foram realizados na areia utilizada, que são os de massa específica (NBR 9770/1987), porcentagem de vazios, com uma metodologia proposta por MARGALHA et al, 2007 e massa unitária no estado solto (NBR NM 45/2006), cujos resultados estão demonstrados na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de caracterização física do agregado miúdo.

Ensaio Realizado	Resultado Apurado
Massa específica (g/cm ³)	2,63
Porcentagem de vazios (%)	32
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	1,38

Os resultados encontrados na Tabela 5 demonstram a característica de uso do agregado miúdo, a literatura descreve que a massa específica real destes agregados deve variar em torno

de $2,70 \text{ g/cm}^3$, valor esse encontrado através do ensaio realizado, a porcentagem de vazios, de 32%, tem relação direta com a massa unitária no estado solto, muito utilizada para conversão do traço de massa para volume, pois descontam-se os vazios internos, sendo os resultados encontrados similares a outros autores, como MARGALHA et al, 2007; ITIM et al, 2011 e NEVILE, 1997.

Foi realizada a análise granulométrica do resíduo após seu processo de beneficiamento tradicional via secagem, tornando-o um pó de coloração cinza, o resultado desta caracterização encontra-se disponível na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de granulometria do resíduo utilizado.

Pedregulho (%)			Areia (%)			Silte (%)	Argila (%)
Grosso	Médio	Fino	Grosso	Médio	Fino		
-	-	-	-	2,80	8,40	50,80	37,80

Com o resultado encontrado na análise granulométrica, podemos concluir que o material utilizado apresenta uma elevada porcentagem de fração silte (50,80%) e argila (37,80%) podendo ser classificado como um material silte-argiloso. Esta informação tem grande aplicabilidade quanto a sua utilização em matrizes cerâmicas, conforme estudos realizados por Viera et al, 2016 que utilizaram o resíduo da indústria de papel e celulose na produção de tijolos cerâmicos. No caso de materiais cimentícios, devido ao próprio modo de incorporação, que se deu no estado líquido, esta informação tem pouca representatividade.

Outra informação deste material, que tem importância significativa, é a determinação da massa específica que foi de $1,95 \text{ g/cm}^3$ e da sua umidade média, que foi de 55,70%. O resíduo tem uma massa específica menor que a do agregado miúdo utilizado, essa menor massa específica deve-se ao fato de maiores volumes internos do material não preenchido em sua constituição, que podem ser confirmados pelas análises químicas e micrografias contidas neste trabalho. Segundo Alda (2008) a configuração tubular, originada pela presença de elevada quantidade de celulose, confere uma redução na massa específica do resíduo. Quanto a sua umidade, o elevado valor encontrado, cerca de 55,70%, refere-se a elevada quantidade de água oriunda do processo de produção que fica aprisionada nos poros internos (Vieira et al, 2016), estando estes dentro das médias encontradas na literatura nacional e internacional.

A atividade pozolânica foi determinada através do método de Lúxan, que avalia a diferença de condutividade, para este ensaio foram preparadas três amostras, que passaram por três peneiras diferentes (#100, #200 e # 270), avaliando assim a influência da finura do material na pozolanicidade. Os resultados estão demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado da pozolanicidade do resíduo.

Amostra	Condutividade (ms/cm a 25°C)		Diferença de condutividade (ms/cm a 25°C)
	Inicial	Final	
# 270 (0,053 mm)	6,27	5,17	1,10
# 200 (0,075 mm)	6,41	5,53	0,88
# 100 (0,150 mm)	6,32	5,60	0,72

Segundo Lúxan, 1989 a atividade pozolânica é determinada através da diferença de condutividade inicial e final, sendo sua classificação padronizada de acordo com suas faixas. Todas as três amostras, verificadas na Tabela 7, encontram-se com média atividade pozolânica, o que garantem ao material uma variabilidade maior de aplicações, além de justificar alguns comportamentos citados na literatura, além de que com a presença do hidróxido de cálcio a temperatura ambiente podem originar compostos com propriedades cimentícias (NURCHASANA, 2013).

Outra característica observada e que quanto maior a finura do material maior tende ser sua condutividade, isso se deve ao aumento da área superficial que garante maior disponibilidade de reações com o ambiente, favorecendo a condutividade, entretanto existem limites para que esta finura não prejudique outras propriedades (MOROPOULOU et al, 2004).

A análise química, realizada com a técnica de espectrometria de fluorescência de raios X (EDX) pode ser observada na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8- Caracterização química por EDX do resíduo da produção de papel em % de componente.

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SrO	ZnO	ZrO ₂
79,006	8,898	8,559	1,163	1,106	0,751	0,352	0,105	0,052	0,007

Os resultados apresentados na Tabela 8 mostram que o resíduo é constituído predominantemente de óxido de cálcio (CaO), sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃). O CaO está associado à calcita. Já o SiO₂ e o Al₂O₃, estão combinados formando a estrutura da caulinita. O carbono está associado à presença de celulose. Os demais óxidos presentes TiO₂ e Fe₂O₃, são possivelmente de impurezas presentes no caulim e na calcita.

A quantidade elevada, 79%, de CaO contribui para as reações em pasta. Na verdade, o CaO pode aumentar a força mecânica da argamassa, no entanto, as propriedades finais da argamassa incorporada dependem de vários outros fatores além da composição de resíduos (PORTER et al, 2017). A Figura 4 mostra o difratograma de raios-X do lodo, onde C = Calcita e CC = Caulinita.

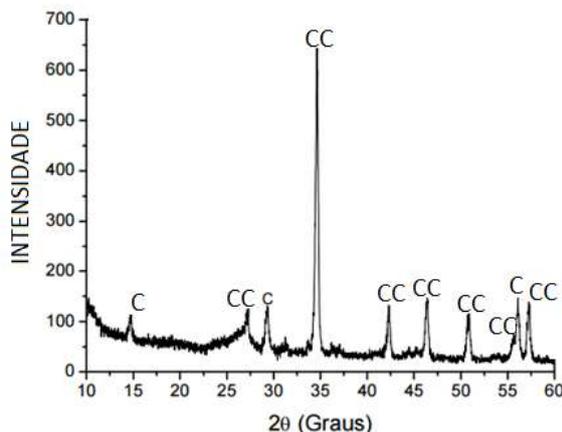


Figura 4 – Difração de Raio-X do lodo estudado.

Na Figura 4 é possível observar que o lodo apresenta como fases cristalinas majoritárias a caulinita, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que é o principal constituinte do caulim, presente em grandes proporções no resíduo, e a calcita, carbonato de cálcio, CaCO_3 . Estes materiais são provenientes das aparas de papel presentes no processo produção da indústria de onde o material é originado.

Segundo Vieira et al, 2016 este material quando submetido a elevações de temperaturas (900°C) forma compostos como silicatos de cálcio, a portlandita e o óxido de cálcio. As reações de hidratação do cimento, que ocorrem em materiais cimentícios, provocam um natural aumento da temperatura interna, o que sugere o início da formação destes compostos, porém devido ao curto período e as temperaturas finais alcançadas, inferiores as verificadas por Vieira et al, 2016, a formação fica comprometida (WONG e BUENFELD, 2009).

Foram utilizadas neste trabalho dois tipos de materiais de reforço, a tela metálica de formato hexagonal composta de fios entrelaçados, denominada aqui de RM, e as telas de polietileno de alta densidade também em formato hexagonal, denominada neste trabalho como RP.

Inicialmente procedeu-se com a caracterização dos materiais de reforço segundo a NBR 10122/2014, conforme a Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Caracterização do material de reforço segundo NBR 10122/2014.

Tipo	Malha (pol)	Diâmetro (mm)	Gramatura (g/m ²)	Altura comercial (m)	Comprimento do rolo (m)
RM	½	0,56	20	1,50	50,0
RP	½	0,61	28	1,50	50,0

Foram escolhidas telas, de ambos materiais, comerciais do mercado, que são vendidas em rolos de altura de 1,50 m e comprimento de 50,0 m, também foi mantido a característica geométrica da abertura de ambas, com formato hexagonal em malha de meia polegada. Os diâmetros e gramatura foram fornecidos pelos fabricantes e atendem aos requisitos da NBR 10122/2014. Ambos os materiais foram ensaiados quanto a sua tração, onde foi aferida a carga de ruptura máxima, conforme a Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de caracterização dos materiais de reforço.

Reforço	Carga máxima de ruptura média (kN)	Modulo de Elasticidade E (Mpa)
RM	4,80 ± 0,45	7,2 x 10 ⁴
RP	5,10 ± 0,32	2,1 x 10 ²

Os resultados apresentados na Tabela 10 são as verificações médias, foram ensaiadas dez amostras de telas de cada tipo, todas do mesmo lote utilizado nos ensaios. Duas análises foram realizadas além da carga máxima de ruptura, a primeira refere-se ao local onde ocorreram as rupturas, se na região dos fios ou na região de junção, no caso das telas metálicas onde a região da junção é composta por um entrelace de fios de menores dimensões a ruptura ocorreu preferencialmente nos fios, regiões mais frágeis, já nas telas de plástico verificou-se o contrário, onde as rupturas ocorreram em geral na região de junção.

A segunda análise relaciona ao tipo de ruptura global, onde nas telas metálicas a ruptura é mais abrupta do que no caso das telas de plástico, onde pela própria característica do material a uma maior deformação antes da ruptura, o que justifica seu reduzido módulo de elasticidade, que é a relação entre a tensão e a deformação na direção de aplicação da carga.

5.2 Caracterização da Argamassa Simples:

A análise reológica influi diretamente sobre a trabalhabilidade e para este trabalho analisou-se sob a perspectiva do squeeze flow, onde pode-se variar de forma significativa conforme se alteram os materiais ou as suas características (AZEVEDO et al, 2017). Os resultados dos ensaios de squeeze flow são demonstrados nas Figuras 5 e 6, de acordo com a velocidade dos ensaios.

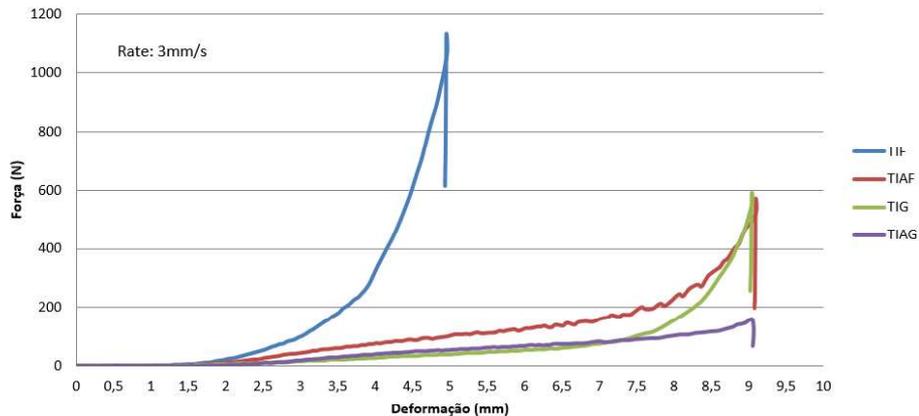


Figura 5 - Resultado do ensaio de Squeeze Flow para uma taxa de 3 mm/s.

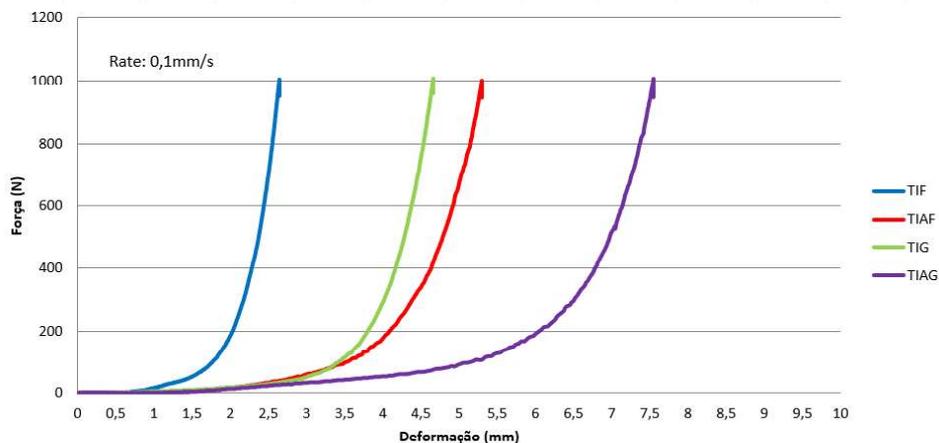


Figura 6 - Resultado do ensaio de squeeze flow para uma taxa de 0,1 mm/s.

Os resultados apresentados com uma maior taxa de carregamento (Fig. 4.9) indicam que as argamassas, com exceção do traço utilizando líquido fino sem aditivo, apresentam uma elevada deformação, chegando ao máximo do ensaio (9 mm) para uma baixa carga aplicada, sendo que quando utilizado o aditivo incorporador de ar em conjunto com o líquido grosso essa carga é ainda menor. A alta dispersão dos resultados encontrados sob essa taxa indica que a argamassa tem sua fluidez acentuada, alguns autores indicam que sob elevadas taxas de

carregamento a compressibilidade provoca um elevado escoamento, o que mascara os resultados, o que explica a dispensabilidade encontrada (CARDOSO et al, 2009).

Sob a análise dos resultados a taxa de compressibilidade de 0,10 mm/s os resultados mostram-se mais confiáveis e coerentes dentro de uma lógica da literatura, onde a presença de líquidos com maiores partículas em suspensão e o uso do incorporador de ar promovem aumento considerável da deformação. Em suspensões cuja concentração de partículas sólidas é alta, como no líquido grosso utilizado, acaba-se originando fortes interações o que promovem uma aglomeração que geram maiores espalhamentos da massa devido a melhora da coesão entre os constituintes (BANFILL, 1987)

O tamanho e a forma dos materiais que constituem a argamassa são determinantes para fatores reológicos que irão atuar sob o sistema, o processo de mistura pode ocasionar uma redução na resistência ao fluxo interno o que favorece a trabalhabilidade (AZEVEDO et al, 2017), como neste trabalho, os resultados de caracterização dos materiais indicaram uma combinação que vise a redução destes fatores, isso foi verificado quando nenhum traço analisado atingiu os valores limites do ensaio.

Após todos os resultados relativos à argamassa simples foi possível traçar indicativos de quais traços seriam os ideais para a confecção das placas cimentícias com reforço, a compilação dos resultados pode ser vista na Figura 7.

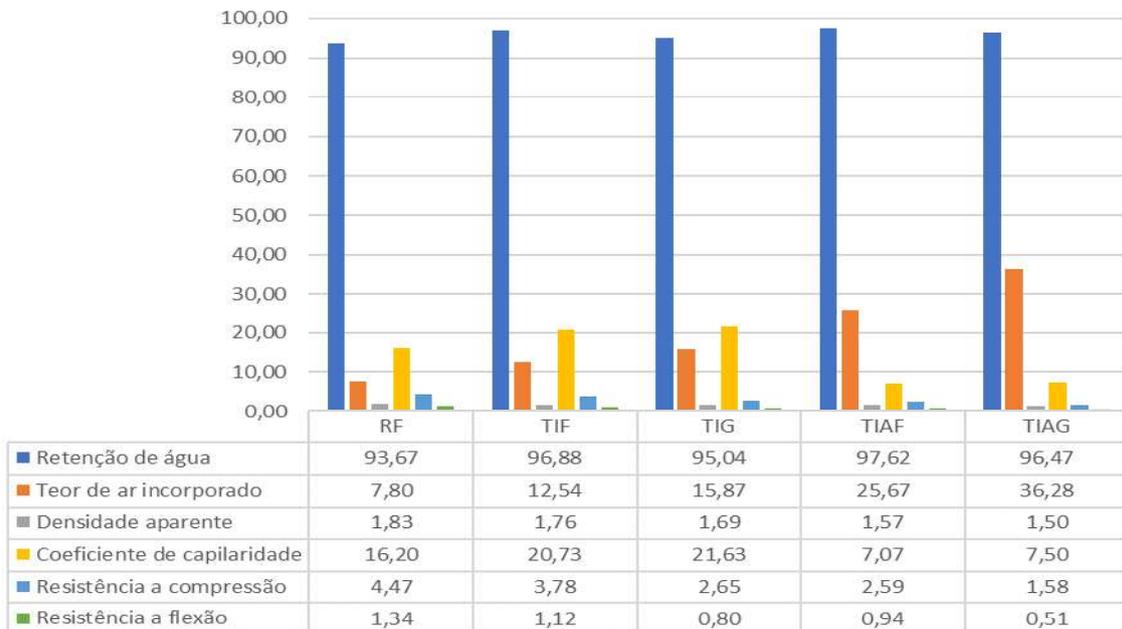


Figura 7 – Comparativo dos ensaios realizados com argamassa simples.

Conforme pode-se observar na Figura 7 os resultados nos permitem fazer as seguintes observações:

- Quanto à retenção de água todos os traços têm resultados dentro do que a literatura indica como o ideal, e considerando-se a aplicação da placa, que poderá atuar como substrato para aplicações de peças cerâmicas esses valores são indicativos positivos, assim todos os traços poderiam ser aplicados;

- Quanto ao teor de ar incorporado, a literatura informa que valores entre 7% a 17% são os que indicam um equilíbrio da quantidade de ar interno de modo a não afetar o compósito, assim os traços TIF e TIG atendem a essas especificações, porém considerando-se que o percentual encontrado para o traço TIAF ser próximo este dependendo de outras propriedades técnicas poderia ser plenamente utilizável;

- Quanto à densidade de massa aparente procura-se uma argamassa com menor valor possível, desde que as demais propriedades, como a resistência mecânica seja plenamente atingíveis, logo inicialmente pode-se adotar todos os traços;

- Quanto ao coeficiente de capilaridade espera-se que baixos valores desta propriedade reflitam em materiais com menor comunicação entre seus poros internos, culminando em menos acúmulo e transporte de água e CO₂ favorecendo a durabilidade, principalmente para aplicações em placas, assim os traços TIAF e TIAG seriam os melhores, porém os demais poderiam ser utilizados, desde que verificadas condições de durabilidade, principalmente do material de reforço utilizado;

- Quanto à resistência mecânica, flexão e compressão, esta propriedade é mais ilustrativa visto que o desempenho da mesma nas placas se dará de maneira diferenciada, pois critérios como espessura são considerados para efeito de cálculo, porém quando analisadas de maneira conjunta com as demais indicam que os traços TIF, TIG e TIAF seriam os melhores.

Assim optou-se pela execução do traço de referência, TIF e TIAF, todos estes com os dois materiais de reforço, tela metálica e tela de plástico, possibilitando comparações e análises possíveis, assim justificando qual atenderá de melhor maneira as normas técnicas.

5.3 Caracterização das Placas Cimentícias:

Os ensaios em placa cimentícia subdividem-se em ensaios que foram realizados em placas inteiras que foram moldadas e aquelas extraídas a partir de corpos de prova, extraídos da placa inteira conforme norma.

Os traços moldados seguem a descrição mostrada na Tabela 11 onde a primeira coluna refere-se à nomenclatura utilizada para a confecção das placas cimentícias, sendo a última letra referente ao material de reforço utilizado.

Tabela 11 – Nomenclatura das placas cimentícias confeccionadas.

Nomenclatura do Traço em placa	Cimento	Cal	Areia	Incorporador de ar*	Tipo de incorporação	Material de reforço	Nomenclatura argamassa simples
PRF- P	1	1	6	-	-	Plástico	RF
PRF- M	1	1	6	-	-	Metálico	RF
PTIF - P	1	1	6	-	Fino	Plástico	TIF
PTIF - M	1	1	6	-	Fino	Metálico	TIF
PTIAF – P	0,995	1	6	0,005	Fino	Plástico	TIAF
PTIAF - M	0,995	1	6	0,005	Fino	Metálico	TIAF

Para o ensaio de tolerância geométrica foram realizadas as medições em triplicata, e as características de linearidade das bordas e desvio de esquadro são de respectivamente, 3 mm/m e 4 mm/m, que na condição de contorno da placa, que é de 460 mm é admitido uma linearidade de 1,38 mm e desvio de esquadro de 1,84 mm. Observando-se os resultados, conclui-se que quanto à linearidade das bordas a grande parte das placas avaliadas enquadrar-se, sendo aquelas de maior valor (1,50 mm) estão próximas do limite estabelecido (1,38 mm). Já quando ao desvio do esquadro algumas amostras apresentam valores superiores ao estipulado, que é 1,84 mm, isto deve-se conforme relatado anteriormente ao processo de desmolde e natural distorções que ocorrem no processo de produção.

Para avaliação da permeabilidade das placas foi montado todo o aparato descrito pela norma (NBR 15498/2016) onde o ensaio baseia-se em uma análise visual, conforme observado nas Figuras 8a, 8b e 8c.



Figura 8 – (a) Face inferior da placa a no estado natural antes do ensaio de permeabilidade. (b) Face inferior da placa após ensaio de permeabilidade – TIPO 1. (c) - Face inferior da placa após ensaio de permeabilidade – TIPO 2.

A norma estipula que nas placas cimentícias, podem aparecer traços de umidade na face inferior, mas em nenhum caso pode haver formação de gotas de água nessa face, assim pode-se claramente concluir de acordo com as fotos que em nenhum dos dois casos típicos (TIPO 1 e 2) houve a formação de gotas, o que já dá aceitabilidade neste parâmetro.

O TIPO 1 caracterizou-se pela maior concentração de umidade na face inferior, que pode ser observada nos traços PTIF (P e M), onde o tipo de material de reforço foi insignificante, pois não trouxe alterações significativas dos resultados. Esse resultado pode ser explicado pelo maior coeficiente de capilaridade observado neste traço nos ensaios com argamassa simples visto que a maior comunicabilidade dos poros internos propicia o transporte da água acumulada da face superior para a inferior. A permeabilidade em sistemas de vedação ou de revestimento vai contra os princípios básicos de durabilidade e ainda tendem a causar degradação dos materiais de reforço interno, visto que a matriz ao invés de se comportar como material de proteção do reforço para ser um agente degradante, podendo haver ainda atuação de outros agentes como o CO₂ (VAN GERVEN et al, 2007).

O TIPO 2 apareceu nos traços PRF (P e M) e PTIAF (P e M), onde foi caracterizado pelo aparecimento de pouca ou quase nenhuma umidade na face inferior fruto na maior barreira interna existente, sendo estes traços mais apropriados para uso como mecanismos de vedação, apesar de ainda serem necessários algumas análises complementares.

Entretanto pode-se afirmar que ambos os tipos avaliados atendem as situações de uso, tanto externo quanto interno, mesmo apresentando os traços de umidade na face (que são pequenos).

Uma preocupação constante em todo e qualquer mecanismo de vedação ou material de construção refere-se a sua atuação frente a exposição de elevadas temperaturas, como no caso de fogo, assim a metodologia do ensaio de painel radiante, normatizado pela NBR 9442/1988, faz essas referências. De acordo com as exigências da NBR 9442/1988, deve-se classificar o índice de propagação de chama (Ip) de acordo com as classes presentes na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12 – Classificação do Ip médio (FONTE: NBR 9442/1988).

Classe	Índice de Propagação de Chamas (Ip) médio.
A	0 a 25

B	26 a 75
C	76 a 150
D	151 a 400
E	Superior a 400

Assim pode-se concluir que todos os traços avaliados se enquadram na classe A, que segundo a norma (NBR 9441/1988) podem ser utilizado em ambientes educacionais, tratamento de saúde, residencial, local de reuniões, comercio e serviços, indústria entre outros, pois apresenta baixa propagação de chamas, o que se espera para este material.

Entretanto outras análises podem ser feitas relativos aos valores nominais encontrados, observando a Figura 9 a seguir.

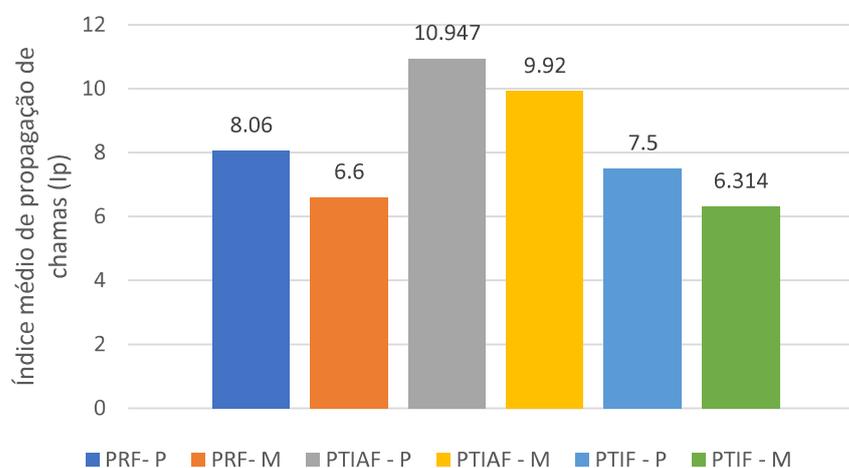


Figura 9 – Variação do I_p nos traços analisados.

Observando a Figura 9 constata-se que em todos os traços analisados a adição do reforço plástico aumenta o índice de propagação de chamas em comparação com o reforço metálico, isso deve-se a característica do material de maior combustibilidade natural, mesmo ele estando protegido pela matriz seu efeito é verificado. No caso do uso dos aditivos incorporadores de ar, observou-se um expressivo aumento do índice de propagação de chamas, justificado pela quantidade de ar aprisionada nestes espaços internos que trazem maior combustão e colabora para propagação do fogo superficial pelo painel radiante. Trabalhos desenvolvidos com uso destes aditivos em estruturas de concreto relatam comportamento similar, ajudando inclusive na desestabilização da armadura interna (SHAH e SHARMA, 2017).

Para os resultados da densidade aparente e absorção de água foram utilizados corpos de prova resultante da ruptura, desde que tenham área superficial superior a 20 cm². Os resultados de ambas as propriedades se encontram nas Figuras 10 e 11.

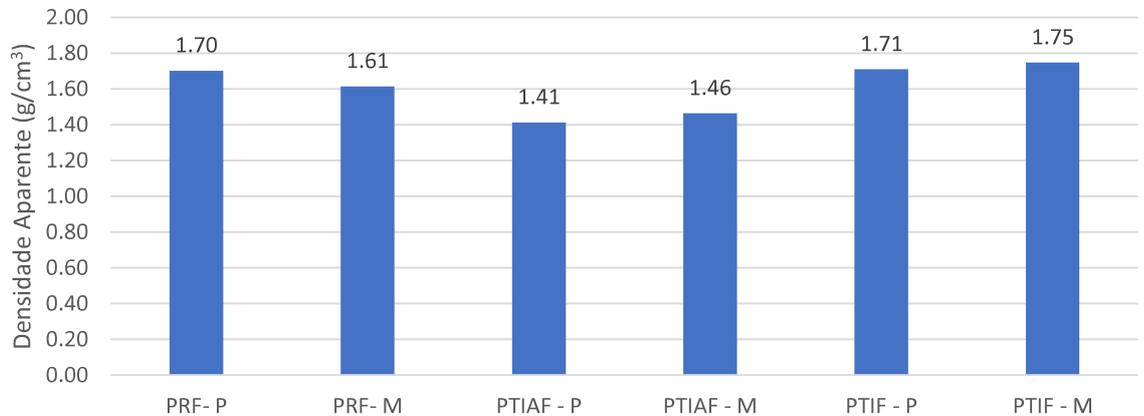


Figura 10 – Resultados da densidade aparente média, em g/cm³, nos traços avaliados.

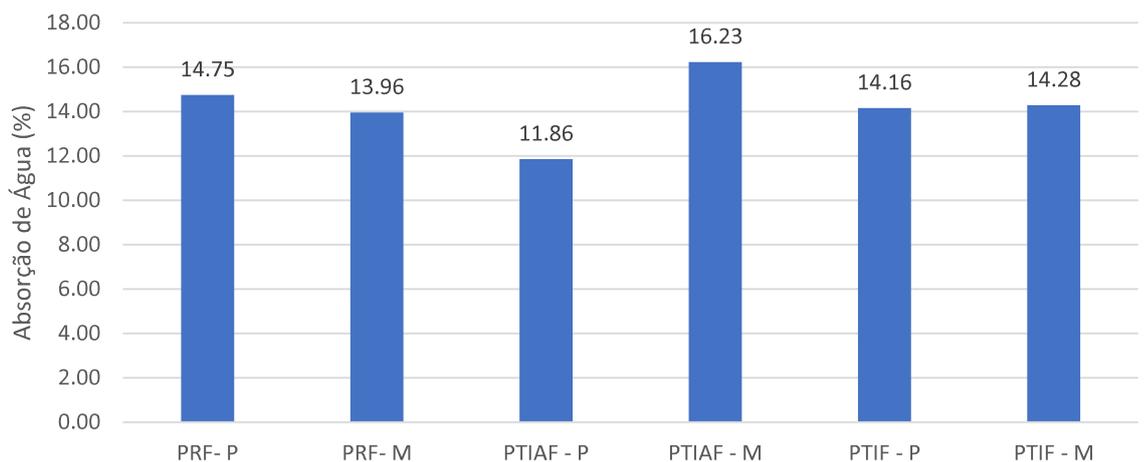


Figura 11 - Resultados da absorção de água das placas, em %, nos diferentes traços avaliados.

Os resultados de ambas as propriedades avaliadas não têm requisitos mínimos estipulados pelas normas brasileiras, logo deve ser realizada uma comparação com produtos comerciais. Observa-se na Figura 10 que a densidade aparente média nos traços PTIAF é o que sofreu maior redução, este fator deve-se a introdução de bolhas de ar do aditivo que tornou as placas mais leves, sendo essa uma propriedade favorável para seu uso com elemento de vedação. Entretanto baixos valores de densidade podem sugerir maior absorção de água que é prejudicial para elementos expostos ao ambiente. Assim pode-se indicar que o traço PTIF é o que melhor balanceia as duas propriedades do ponto de vista tecnológico e de uso, sendo o material de reforço plástico o mais aconselhável devido à densidade aparente próxima

do traço de referência e menor absorção, além de serem compatíveis com produtos comerciais disponíveis.

A menor absorção de água, verificada no traço PTIF, deve-se ao efeito de preenchimento da matriz pelas microfibras de celulose presente no resíduo que favorece o tamponamento dos poros internos, além da formação de produtos hidratados com o CaO e outros compostos presente, que contribui para esse efeito, além de contribuir para manutenção dos valores de densidade (ZANELLA et al, 2014).

Os valores da resistência mecânica dos corpos de prova pode ser observado na Figura 12.

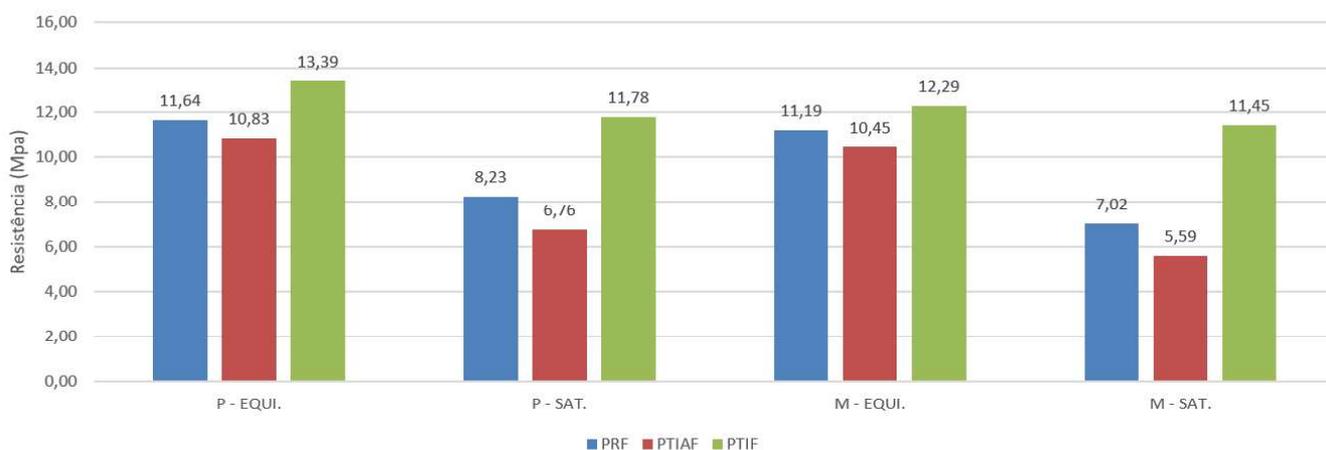


Figura 12 - Efeito comparativo da resistência mecânica em placas cimentícias.

Os resultados observados na Figura 12 acima nos mostram a influência dos principais parâmetros analisados na resistência mecânica, onde observa-se claramente que a adição do lodo primário da indústria de papel e celulose foi benéfico as placas cimentícias.

A durabilidade das placas cimentícias reforçadas foram avaliadas segundo uma metodologia proposta pela NBR 15498/2016 que normatiza a quantidade e duração dos ciclos de imersão em água e secagem em estufa, encontrando-se um coeficiente que correlaciona a resistência mecânica antes e após os ciclos, denominada de R_i , demonstrado na Figura 13.

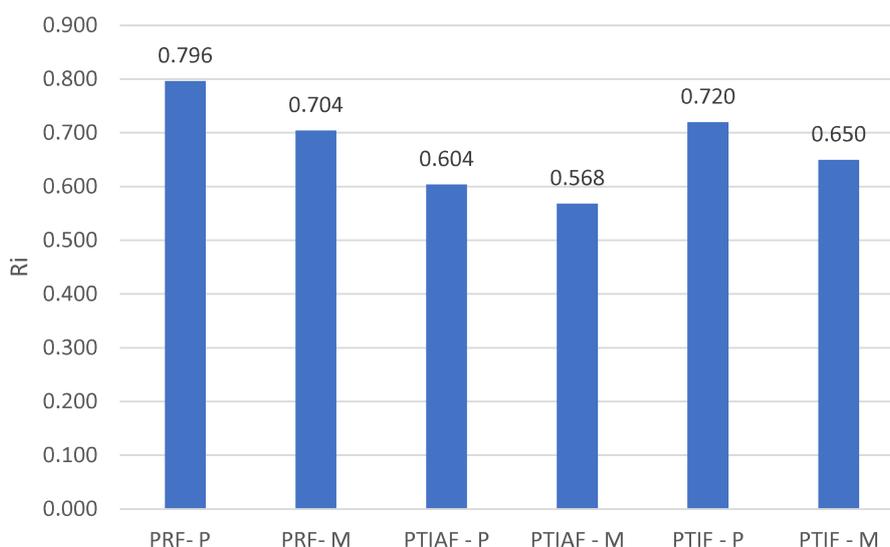


Figura 13 - Coeficiente de durabilidade proposto pela NBR 15498/2016.

A NBR 15498/2016, faz considerações acerca do coeficiente de durabilidade, onde quanto mais próximo de 1,0 menor é o efeito de agentes agressivos ao produto final. Observando-se os resultados pode-se inferir que os traços que utilizam o aditivo de teor de ar incorporado são mais suscetíveis aos agentes agressivos oriundos processo de exposição à molhagem e secagem, esta condição assemelha-se a exposição que as placas cimentícias terão ao serem utilizadas como elementos de vedação interna ou externo.

Os aditivos de ar incorporado, ao adicionarem vazios internos com ar adicionais à massa, acabam sofrendo com as variações dos ambientes externos, principalmente em matrizes cimentícias, onde acaba fragilizando a aumentando as fissuras internas, reduzindo assim a resistência mecânica das placas (KARATAS et al, 2015). Outra análise a ser sugerida é que com a diminuição da portlandita, devido a hidratação da pasta de cimento ao longo do tempo, e a forte presença de calcita, oriunda de reações da cal com o CO₂ do ar ambiente pode favorecer a carbonatação, reduzindo a resistência (FARIAS FILHO et al, 2011).

Quanto aos valores absolutos observados sugere-se que o uso de aditivos incorporadores de ar é prejudicial a durabilidade, enquanto o uso somente do resíduo líquido em forma fina tem pouca influência na redução da resistência mecânica nos ciclos avaliados, isso deve-se ao efeito da celulose dentro da matriz (AGOPYAN e JOHN, 1992).

6. CONCLUSÕES:

Quanto às placas cimentícias com uso de reforço, concluiu-se neste trabalho que:

- O uso do lodo proveniente da indústria de papel e celulose é viável em materiais cimentícios, acarretando em melhora das propriedades tecnológicas como a resistência mecânica, propagação ao fogo e outras;

- O uso do resíduo solubilizado em água, em porcentagem de 7,5% e denominado neste trabalho de líquido fino, desempenhou significativo papel no produto final, tanto em aspectos microestruturais quanto macroestruturais, favorecendo a redução de geração de resíduos sólidos e acarretando em futura redução de custos para as indústrias do segmento;

- O processo de produção das placas cimentícias ainda carece de aprimoramento, algumas dificuldades foram observadas no processo de moldagem, adensamento e desmolde, que podem ser corrigidos com a adoção de produção em larga escala, diferente da laboratorial;

- A dificuldade no acabamento externo, pode ser mitigada dando-se a ele um aspecto rustico para acabamento de painel de vedação, esse estudo ainda precisa ser difundido, principalmente pela questão de mercado para o produto;

- Os resultados encontrados nos traços em que houve o uso do aditivo de incorporação de ar, não indicam um bom uso para ele, pelo menos na porcentagem estudada nesta pesquisa, sendo assim os traços com uso deste material são desencorajados;

- Quanto ao material de reforço, observou-se uma preferência pelo uso das telas plásticas, não só pelas propriedades mecânicas do material, mas pela melhor maneira de manuseá-lo durante o processo de produção, além de favorecer propriedades mecânicas e de durabilidade. Outras propriedades, como o ponto de amolecimento, foram observadas nos ensaios, onde ambos os reforços obtiveram bom desempenho;

- Os resultados das análises geométricas indicaram uma média variabilidade dos resultados, isso é fruto de erros decorrentes do processo de moldagem laboratorial e do efeito Curing, que tem potencialidade de ser superado em uma escala industrial, produzindo produtos com maior controle de qualidade.

- Quanto às propriedades tecnológicas avaliadas, foi observado que o traço PTIF foi aquele que melhor obteve desempenho, quando comparado a outros produtos comerciais disponíveis no mercado brasileiro, tendo sua viabilidade comprovada.

Assim, pode-se concluir neste trabalho, que o uso do traço PTIF - P (líquido fino, sem aditivo, com tela de plástico) é o que melhor atendeu aos padrões normativos brasileiros e comerciais, melhorando inclusive algumas propriedades, mostrando-se assim a viabilidade da produção de placas cimentícias com reforço, juntamente com o lodo da indústria de papel e celulose, para fins de vedação interna e externa de edificações em geral.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004:** Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 10122: Tela de arame de aço zincado de baixo teor de carbono, com malha hexagonal - Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- _____. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- _____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13280. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 2013.
- _____. **NBR 15259. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 15498: Placa de fibrocimento sem amianto.** Rio de Janeiro, 2016.
- _____. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais – desempenho – Parte 4: Requisitos para vedações verticais internas e externas -- SVVIE.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 15839: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Avaliação de reologia por Squeeze-Flow**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7181: **Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9442: **Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR 9775: **Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 9935: **Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR MN 51: **Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"**. Rio de Janeiro, 2001.

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

AGOPYAN, V; JOHN, V. M. **Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials**. Building research and information. v. 20, p. 258 - 269, 1992.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Brasília: UnB. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2002.

ASTM E 662, Test method for specific optical density of smoke generated by solid materials.

AZEVEDO, A.R.G; ALEXANDRE, J; ZANELATO, E.B; MARVILA, M.T. **Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar**. In Construction and Building Materials, v. 148, p. 359-368, 2017.

AZEVEDO, A.R.G. **Avaliação da Incorporação do Lodo Primário da ETE da Indústria de Papel Reciclado na Produção de Argamassas**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2015.

BANFILLI, P.G., **Feasibility study of a coaxial cylinders viscometer for mortar**, Cement and Concrete Research, 17, 329-339, 1987.

BNDES, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Relatório Técnico da Indústria de Papel e Celulose no Brasil**, 2014.

BOHARB, A; ALLOUHI, A; SAIDUR, R. **Energy conservation potential of an energy audit within the pulp and paper industry in Marocco**. Journal of Cleaner Production. v.149 (1), p. 569 - 581, 2017.

BRACELPA, Associação Brasileira de Papel e Celulose. **Panorama da Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no mundo**, 2014.

BRACELPA, Associação Brasileira de Papel e Celulose. **Panorama da Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no mundo**, 2017.

CAPPELARI, M; DAUBRESSE, A; CHAOUICHE, M. **Influence of organic thickening admixtures on the rheological properties of mortars: relationship with water retention**. Constr. Build. Mater. v. 15, p. 950–961, 2013.

CARASEK, H; OLIVEIRA, A.M; ARAÚJO, J. **Influência da maturação da cal hidratada na trabalhabilidade de argamassas**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, 7. Recife, SBTA, 2007.

CARDOSO, F.A; JOHN, V.M; PILEGGI, R.G. **Rheological behavior of mortars under different squeezing rates**, In Cement and Concrete Research, v. 39 (9), p. 748-753, 2009.

CUNHA, A.C.Q; HELENE, P.R. **Despassivação das Armaduras de Concreto por Ação da Carbonatação**. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica, 2001.

CYR, M; AUBERT, J.E; HUSSON, B; CLASTRES, P. **Recycling Waste in Cement Based Materials: a Studying Methodology**. In: RILEM Proceedings of the Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures, Barcelona, Spain, p. 306-315, 2004.

ENGMANN, J; SERVAIS, C; BURBIDGE, A.S. **Squeeze flow theory and application to rheometry: A review**. Journal of Non-Newtonian Fluids Mechanics. p. 1-27, 2005.

FARIAS FILHO, J; MENEZES, R. R; FERREIRA, H.S; SANTANA, L.N.L; NEVES, G.A; FERREIRA, H.C. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos**. *Cerâmica*, 57, p. 395 - 403, 2011.

FARIA FILHO, J. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia), 2007.

GOEL, G; KALAMDHAD, A.S. **An investigation on use of paper mill sludge in brick manufacturing**. *Construction and Building Materials*, v. 148, p. 334-343, 2017.

IBGE, 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Brasileiro de Empregos**. Disponível para consulta em www.ibge.gov.br.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção Civil – Princípios de ciência e engenharia de materiais**. Vol. 1. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2007.

ISO 1182, **Reaction to fire tests for products – Non-combustibility test**.

ITIM, A; EZZIANE, H; KADRI, E.H. **Compressive strength and shrinkage of mortar containing various amounts of mineral additions**. *Construction and Building Materials*, v. 25, p. 3603-3609, 2011.

JOHN, V.M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP. 113 f. Tese (Livre Docência), 2000.

KARATAŞ, M; BENLI, A; ERGIN, A. **Influence of ground pumice powder on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars**. *Construction and Building Materials*. 150 (30), p. 467 – 479, 2017.

LANZÓN, M; GARCÍA-RUIZ, P.A. **Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives**. *Construction and Building Materials*. 23 (10), p. 3287 – 3291, 2009.

LEI 12.305/10 PNRS - **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, de 2 de agosto de 2010.

LU, J.X; ZHAN, B.J; DUAN, Z.H; POON, C.S. **Using glass powder to improve the durability of architectural mortar prepared with glass aggregates**. *Materials & Design*, v. 135, p. 102-111, 2017.

LÚXAN M. P. **Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement**. *Cement and Concrete Research*, p. 63-68, 1989.

MARGALHA, M. G; VEIGA, R. V; BRITO, J. **Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea**. APFAC, 2 ° Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa – Portugal, 2007.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais** - 1a edição - Ed. PINI, São Paulo, 1994.

MENEZES, R. R. **Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas**. Cerâmica, v. 55, n. 1, p.263-270, 2009.

MOROPOULOU, A; BAKOLAS, A; AGGELAKOPOULOU, E. **Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis**. Thermochemica Acta, v. 420, p. 135-140, 2004.

NEVILE, A.M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 2 ed. São Paulo. PINI, 1997.

NURCHASANA, Y; **Characteristic of ‘Tulakan’ Soil as Natural Pozzolan to Substitute Portland Cement as Construction Material**. Procedia Engineering, v. 54, p. 764-773, 2013.

PORTER, H; DHAMI, N.K; MUKHERJEE, A. **Synergistic chemical and microbial cementation for stabilization of aggregates**. Cement and Concrete Composites. v. 83, p. 160 – 170, 2017.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D’ESSAIS DE MATÉRIAUX ET DE CONSTRUCTION- RILEM: 13 MR Committee on Mortars and Renderings, Matériaux at Construction, Genève, 1980.

SAFIUDDIN, M.D; MOHD Z.J; SALAM, M.A; ISLAM, M.S; HASHIM, R. **Utilization of solid wastes in construction materials**. International Journal of the Physical Sciences. v.5 (13), p.1952 – 1963, 2010.

SANTOS, P.S. **Tecnologia das Argilas, aplicadas às Argilas Brasileiras**. Edgard Blucher, Editora da Universidade de São Paulo, 1975.

SHAH, A.H; SHARMA, U.K. **Fire resistance and spalling performance of confined concrete columns**. Construction and Building Materials, v. 156 (15), p.161-174, 2017.

SILVA JUNIOR, O.J; REGO, J.J.S; PINHEIRO, M.A.S. **Desempenho acústico de divisórias verticais em blocos de gesso: Uma avaliação a partir de medições de campo e em laboratórios**. Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 5, p. 15-21, 2015.

SILVA JUNIOR, W.S. **Estudo para utilização de resíduo da fabricação de papel na construção rodoviária**. São Paulo, 2010. 210 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SILVA, A. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002 145 p. (Mestrado em engenharia civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002

SILVA, D.A; TRISTÃO, F.A; ROMAN, H.R; SOUZA, F.K. **Argamassas intermediárias de cal e areia para revestimentos: efeitos das características da areia**. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, São Paulo, p. 299-311, 2003.

TOPÇU, I; CANBAZ, M. **Properties of concrete containing waste glass**. Cement and Concrete Research, v. 34, p. 267-274, 2015.

U.S. Environmental Protection Agency. **Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States**, 2017.

VAN GERVEN, T. **Effects of Carbonation and Leaching on Porosity in Cement-Bound Waste**. Waste Management, v. 27, n. 7, p. 977-985, 2007

VIEIRA, C.M.F; PINHEIRO, R.M; RODRIGUEZ, R.J.S; CANDIDO, V.S; MONTEIRO, S.N. **Clay bricks added with effluent sludge from paper industry: Technical, economic and environmental benefits**. Apply Clay, v. 123 (11), p. 456 – 461, 2016.

WOJCIECH, P; SIKORAB, H. **Effect of air entrainment on shrinkage of blended cements concretes**. Construction and Building Materials. p. 298 – 307, 2015.

WONG, H.S; BUENFELD, N.R. **Determining the water-cement ratio, cement content, water content and degree of hydration of hardened cement paste: method development and validation on paste samples**. Cem. Concr. v. 39, p. 957-965, 2009.

YOUNG, F.J; MINDESS, S; GRAY, R.J; BENTUR, A. **The Science and Technology of Civil Engineering Materials**, Ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, 1998.

ZANELLA, B.P; SÁ, E.B; ACORINTI, N.O; TRANNIN, I.C.B; SIMÕES, S.J.C. **Durability of mixed mortar lining containing dregs-grits**. American Journal of Environmental Science. v.10 (1), p. 44-47, 2014