

Estudo da durabilidade de placas de fibrocimento com substituição parcial de cimento Portland por resíduo de cerâmica vermelha

(Study of the durability of fiber cement boards with partial replacement of Portland cement by red ceramic residue)

A. M. Scalabrim¹; C. R. B. Baldin¹, J. I. P. Filho¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Avenida do Conhecimento, Km1, Bairro Fraron, Pato Branco-Paraná¹

scalabrimmariaalice@hotmail.com

Resumo

Sabe-se que a indústria da cerâmica vermelha no Brasil gera grandes quantidades de resíduos de argila calcinada a cada ano, reutilizar esses resíduos no desenvolvimento de produtos com maior valor agregado, como na fabricação de placas cimentícias, pode favorecer o desenvolvimento sustentável, além de reduzir o uso de recursos não renováveis na fabricação de cimentos. Neste estudo foram avaliadas placas de fibrocimento produzidas com cimento CP V-ARI, fibras de celulose e polipropileno como reforço, bem como a adição de filler calcário e a substituição parcial do cimento por resíduo de cerâmica vermelha. As placas foram produzidas por meio do processo Hatschek adaptado para uso em laboratório. O material foi caracterizado por meio dos ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica e resistência mecânica à flexão. A durabilidade foi avaliada por ensaio de envelhecimento natural, onde as amostras foram expostas às condições climáticas ambientais por 60 dias.

Palavras chave: Durabilidade, placas de fibrocimento, resíduo de cerâmica vermelha

Abstract

It is known that the red ceramic industry in Brazil generates large amounts of calcined clay residues every year, reusing these residues in the development of products with higher added value, such as in the manufacture of fiber cement boards with can favor sustainable development, besides reduce the use of nonrenewable resources in the manufacture of cements. In this study, it was evaluated fiber cement boards produced with CP V-ARI cement, cellulose fibers and polypropylene as reinforcement, as well as the addition of limestone filler and the partial replacement of the cement with red ceramic residue. The boards were produced using the Hatschek process adapted for use in the laboratory. The material was characterized by water absorption, apparent porosity, specific gravity and flexural strength tests. The durability was evaluated by natural aging test, where the samples were exposed to environmental climatic conditions for 60 days.

Keywords: Durability, Fiber Cement Boards, Red Ceramic Residue

INTRODUÇÃO

A fabricação do cimento Portland gera um grande impacto ao meio ambiente, com elevada produção de gás carbônico, principalmente durante a produção do clínquer. Cerca de 90% das emissões de carbono é gerado durante a produção do clínquer, os 10% restantes são produzidos pelo transporte e consumo de energia elétrica na fábrica [1]. No Brasil, as indústrias de cimentos foram responsáveis por 29,6% das emissões de CO₂ em 2012 [2].

Assim, surge a necessidade de estudos que visam a utilização de resíduos industriais com propriedades para substituições ou adições ao cimento Portland, sendo que os resíduos de cerâmica vermelha (RCV) veem recebendo grande atenção dos pesquisadores nos últimos anos, por apresentarem certa atividade pozolânica. Porém, um dos problemas relacionados à utilização do RCV é que a sua queima e a composição da matéria prima não são homogêneas [3].

Segundo dados da ANICER [4] a indústria da Cerâmica Vermelha representa 4,8% da indústria da Construção Civil no Brasil, com aproximadamente 6.903 empresas do ramo. Estima-se que o volume de material descartado seja em torno de 1,6 % a 10 % da produção total de cerâmica vermelha no país [5].

Para as grandes quantidades de argila consumida, percentuais de 1% de geração de resíduo cerâmico calcinado ainda representam um volume considerável de material a ser gerenciado, e medidas importantes são necessárias tanto da questão da melhoria da eficiência do processo quanto no gerenciamento do montante de resíduos gerados [5].

Anjos, Ghavami e Barbosa [7] investigaram da substituição parcial do cimento por resíduo de fábrica de blocos cerâmicos na produção de compósitos cimentícios, utilizando como reforço na matriz de cimento, polpa de bambu refinada. As substituições foram em percentagens de 0, 20, 30 e 40% em relação à massa de cimento. O estudo relata que é possível obter uma economia no produto final, mantendo as propriedades físicas e mecânicas, considerando a substituição de até 20% do cimento pelo resíduo.

Atualmente, há um interesse crescente no desenvolvimento de materiais compósitos, principalmente na produção de placas de fibrocimento para uso em sistemas industrializados. A produção mundial de compósitos cimentícios com reforço de fibras celulósicas, combinadas ou não a fibras plásticas é próximo à 430 milhões de m² ao ano, produção essa localizada em grande parte nos EUA e na Europa [8].

Para a avaliação da durabilidade o material é exposto ao envelhecimento natural, são analisadas as propriedades mecânicas e físicas antes e após o envelhecimento para verificar o

efeito do tempo nas placas. Poucos trabalhos foram realizados em relação a longevidade destes novos materiais, por este motivo neste trabalho esse fator também é investigado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização da pesquisa os materiais utilizados foram o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), filler calcário, resíduo de cerâmica vermelha (RCV), fibras de celulose e fibras de polipropileno (PP).

O cimento CPV ARI foi escolhido por conter um teor de clínquer elevado e ser mais reativo. Foi utilizado o filler calcário como um material fino para o preenchimento dos vazios.

O resíduo de cerâmica vermelha é proveniente do descarte da indústria de blocos e telhas, localizada na região centro - oeste do estado do Paraná, onde o processo de queima varia entre 500 a 800° C. Esse resíduo foi moído em laboratório, sendo utilizado somente o material passante na peneira de 150 mm.

Os resultados obtidos para os ensaios de área superficial (NBR 16372 (ABNT, 2015) e massa específica aparente (NBR 16605 (ABNT, 2017) dos aglomerantes utilizados neste estudo estão apresentados na Tabela I.

Tabela I – Massa específica e permeabilidade dos aglomerantes		
Material	Massa específica (g/cm³)	Blaine (cm²/g)
CP V	3,09	4451
Fíler Calcário	2,70	4576
RCV	2,61	12902

Fonte: Baldin (2019)

As placas de fibrocimento em geral utilizam a adição de fibras para melhorar as suas características em relação à resistência à flexão. Neste caso as fibras utilizadas foram as fibras de celulose de papelão (FCP) e PP.

Para determinação da mistura foram utilizados como base estudos realizados por Baldin [11] no qual a fração em volume de RCV variou entre 0 e 50%. A partir de seus resultados decidiu-se utilizar frações de 20 e 30% por apresentarem os melhores resultados em relação a caracterização física e mecânica.

A Tabela II apresenta o quantitativo de materiais empregado em cada mistura em percentual.

Tabela II – Fração em massa dos materiais na mistura

Material	Fração em massa (%)
Cimento Portland	47,73 - 64
RCV	0 – 16,27
Fíler calcário	32
Fibras de celulose	2,5
Fibras de PP + celulose	1,5

Fonte: Autora (2019)

Para a fabricação das placas foi utilizado o método Hatschek modificado para uso em laboratório. O fator água/cimento para a mistura foi de 0,6 para permitir uma boa distribuição das fibras por toda a placa e facilitar a moldagem.

O processo de moldagem foi por drenagem a vácuo, um processo similar ao utilizado por Caldas e Silva [12]. Na mistura inicialmente são colocadas as fibras de celulose e PP com celulose na argamassadeira e repousam por um minuto, seguido de 1 minuto de mistura em velocidade alta. Após são adicionados os materiais secos em velocidade baixa por um minuto e misturados em velocidade alta por mais dois minutos.

Em seguida a mistura é colocada na forma de dimensões (200 x 200 mm), com uma chapa metálica perfurada em sua base inferior e papel filtro para evitar perdas de material. A mistura é espalhada com ajuda de espátula e nivelador. A forma está ligada a uma bomba de vácuo, a qual retira o excesso de água do material. Inicialmente a bomba é ligada por aproximadamente 15 segundos, em seguida a mistura é adensada com o auxílio de um soquete metálico de base (50 x 75) mm, 200 mm de altura e peso 1098g. Após isso a bomba é acionada por mais 2 min e 45 segundos.

A absorção de água, massa específica e porosidade aparente foram determinadas de acordo com as recomendações da norma ASTM C 948-81, utilizando a média de seis corpos de prova.

A resistência mecânica foi verificada por meio do ensaio de flexão de três pontos, utilizando a máquina universal de ensaio AROTEC, modelo WDW-100E, célula de carga de 100 KN, com velocidade de deslocamento 5,0 mm/min.

Foram utilizados quatro corpos de prova para cada valor a ser encontrado, sendo feita a média entre os quatro para determinar o módulo de ruptura do material (MOR). O MOR foi calculado pela Equação A:

$$\text{MOR} = \frac{3Pl}{2bd^2} \quad (\text{A})$$

Onde:

MOR= Módulo de ruptura (Mpa);

P= Carga máxima aplicada (N);

l = vão inferior entre cutelos (mm);

b = largura do corpo-de-prova (mm);

d = espessura do corpo-de-prova (mm).

Para o estudo da durabilidade os corpos de prova foram mantidos ao ar livre, sob ação da intempérie, em uma bancada com inclinação de 30% com a horizontal, voltados para o norte magnético, maximizando assim a incidência de raios solares. As amostras ficaram expostas por um período de 60 dias. Após os 60 dias foi realizado o ensaio de flexão de três pontos. As principais características climáticas do período foram temperatura média em fev./mar. 19 = 22,75 o C, e precipitação média no período = 160 mm/mês.

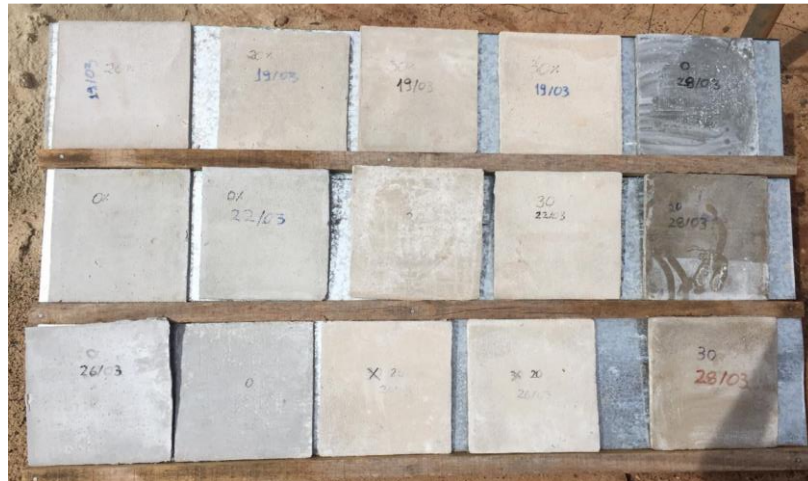


Figura 1 – Placas mantidas ao ar livre apoiadas em bancada

A difração de raios-X (DRX) representa a interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes de um material. Foi realizada em amostras com 28 e 60 dias de hidratação, no equipamento da marca Rigaku, modelo Mini Flex.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Físicas

Os valores das propriedades físicas das placas foram determinados para cada porcentagem de resíduo de cerâmica vermelha em volume, conforme apresentado na Tabela III.

Tabela III – Valores médios das propriedades físicas aos 28 dias

Identificação	% RCV	Absorção (%)	Massa específica (g/cm³)	Porosidade (%)
P1	0	23,87	1,50	37,03
P2	20	23,14	1,52	36,39
P3	30	22,31	1,52	35,14

Fonte: Autora (2019)

Não ocorreu uma variação expressiva nos valores de densidade das placas, o que segundo Araujo (2017), pode ocorrer devido a maior retenção de água da mistura, ou também por um melhor empacotamento da matriz. Resultados parecidos foram apontados em Awoyera [13], onde as densidades permaneceram sem grande variabilidade.

A absorção e a porosidade apresentaram uma pequena diferença e podem ser explicadas também por Araujo (2017) onde foi notado que o RCV não alterou o volume de poros/vazios permeáveis.

Propriedades Mecânicas

A Tabela IV apresenta os valores do módulo de ruptura à flexão (MOR) médios para os corpos-de-prova aos 28 e 60 dias. Aos 28 dias não houve grande variabilidade no MOR entre as placas com ou sem resíduo, porém as placas de referência em geral tiveram um resultado levemente abaixo das placas com a adição. Houve uma considerável queda na resistência das placas P1 (referência) e P2 (20% de RCV) de 28 para 60 dias de hidratação, sendo decorrente do processo de exposição das mesmas às intempéries.

Tabela IV – Módulo de Ruptura à flexão para amostras com 28 e 60 dias

% RCV	28 dias	60 dias
0	7,12	5,54
20	7,77	6,73
30	7,26	7,15

Fonte: Autora (2019)

Na Figura 2 é possível observar o comportamento das placas em fibrocimento aos 28 e 60 dias de hidratação, sendo que as placas com substituição de 30 % de cimento por RCV apresenta a menor queda de resistência ao longo do tempo e também maior resistência em relação a amostra referência (0% de RCV). Entretanto todas as amostras analisadas podem ser classificadas como externa, Classe A, categoria 2, segundo a NBR 15496 (2016).

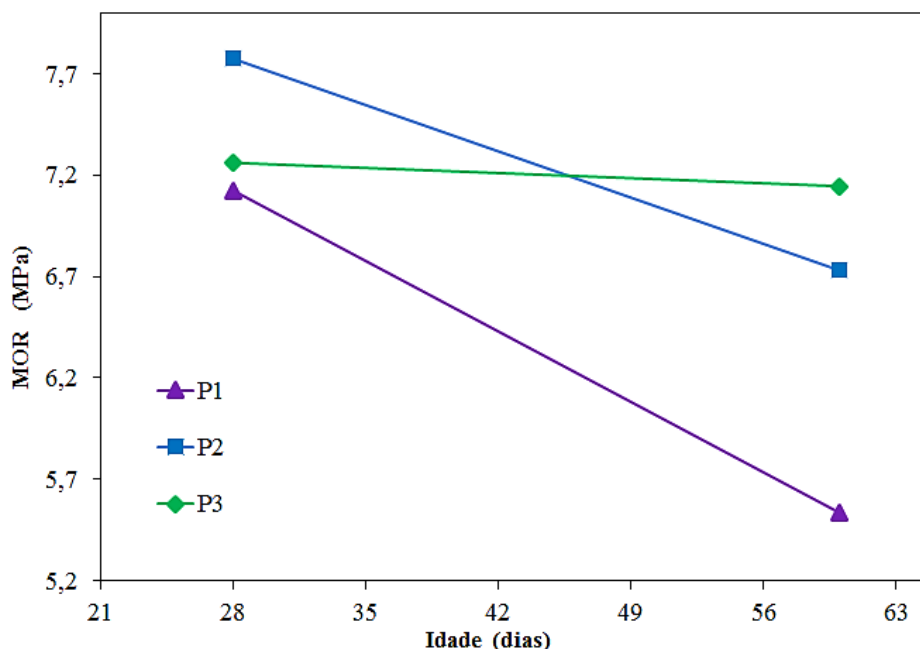


Figura 2 - Módulo de ruptura à flexão placas em fibrocimento 28 e 60 dias.
Fonte: Autora (2019)

O tratamento estatístico Anova dos resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica aos 28 dias de hidratação, confirma a igualdade entre os resultados com um “p-valor” de 0,553, sendo superior ao valor de “alfa” (0,05) para um nível de confiança de 95%.

Para as amostras com 60 dias de hidratação os resultados de resistência mecânica analisados segundo tratamento estatístico Anova apresentam um “p-valor” de 0,00236 para um nível de confiança de 95%. Neste caso o teste de significância confirma que há diferença significativa entre os resultados. As comparações realizadas pelo teste Tukey apresentaram diferença significativa entre as amostras P1 e P2, e entre P1 e P3.

Dessa forma, pode se evidenciar que a substituição do RCV pelo cimento em percentuais de 20% e 30% em volume podem contribuir na resistência mecânica, assim como na durabilidade das placas de fibrocimento ao longo do tempo analisado. Observa-se um aumento de 29,1% de resistência aos 60 dias das placas com 30% de RCV em relação às placas referência, e de 21,5% das placas com 20% de RCV.

Caracterização Microestrutural

Para análise da durabilidade das placas foi realizado o ensaio de Difração de Raios X (DRX) nas amostras com 0%, 20% e 30% de substituição de cimento por RCV nas duas idades analisadas. As Figuras 3 e 4 demonstram os difratogramas das amostras com 28 e 60 dias, respectivamente.

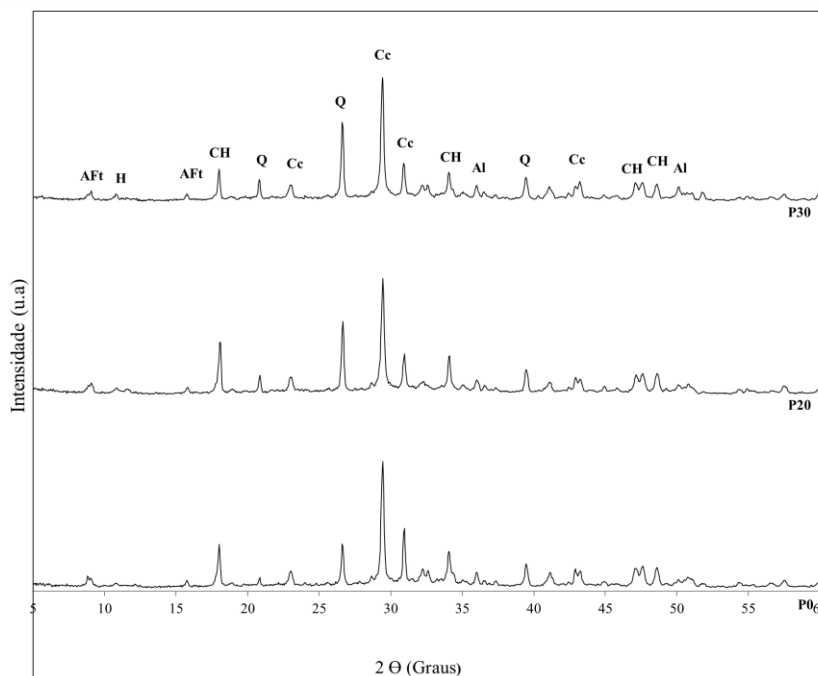


Figura 3 - Difratograma das amostras aos 28 dias
Fonte: Autora (2019)

A partir dos difratogramas percebe-se a formação de Etringita (Aft), Hidróxido de cálcio (CH), Carbonato de cálcio (Cc), Aluminato (Al), Quartzo (Q) e Hematita (H). Verifica-se que ocorre uma leve redução do Hidróxido de Cálcio conforme aumenta o teor de RCV, e uma elevação mais significativa nos picos cristalinos de Quartzo e Hematita nas amostras com 30% de RCV nas duas idades analisadas, o que confirma os resultados satisfatórios observados na resistência mecânica. De acordo com Anjos [14], o uso de materiais como o RCV tende a diminuir o ataque às fibras, devido à redução na quantidade de hidróxido de cálcio na matriz, possibilitando aumento da durabilidade.

Não foram observadas alterações significativas nos padrões de Raios-X quando comparado os resultados das amostras de 28 para 60 dias, exceto nas misturas com 30% de RCV. De fato, esta análise implica que a presença do RCV na matriz (até 30% de substituição) tem um efeito positivo em relação a durabilidade.

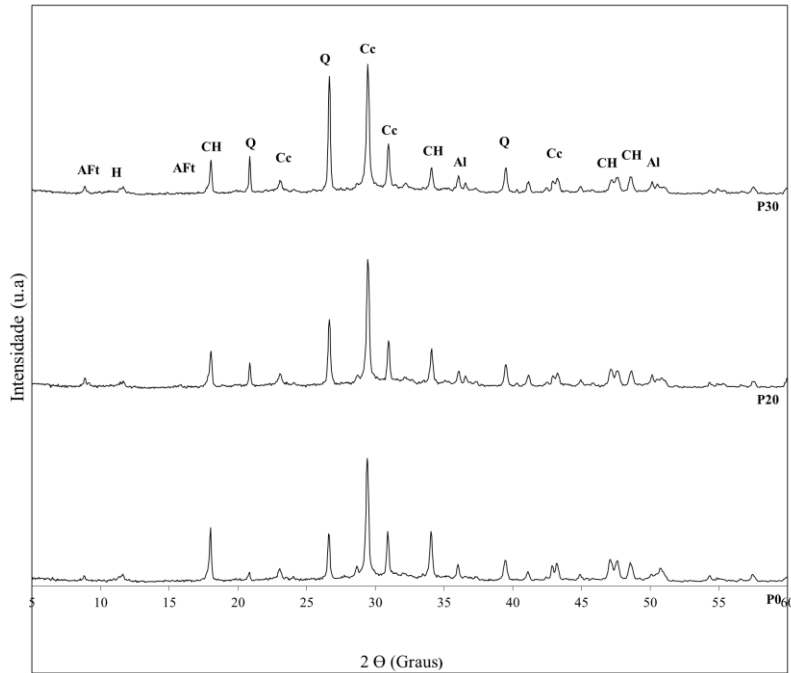


Figura 4 - Difratoograma das amostras aos 60 dias
Fonte: Autora (2019)

CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento de placas de fibrocimento em relação a durabilidade, considerando a resistência mecânica à flexão, características físicas e microestruturais.

As placas com teores de substituição de 20% e 30% mantiveram suas propriedades de densidade, porosidade e absorção de água equivalentes as amostras referência, o que confere uma opção de destinação do resíduo.

As amostras com 20% de substituição do cimento por RCV apresentaram os melhores resultados de resistência mecânica nas primeiras idades, entretanto aos 60 dias as placas contendo 30% de RCV se mostraram menos sensíveis aos efeitos do envelhecimento natural, corroborando com os resultados observados nos difratogramas de Raios X.

De forma geral pode se concluir que o uso do resíduo de cerâmica vermelha moído na fabricação de placas de fibrocimento tem um efeito benéfico na resistência a flexão, bem como na durabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Brasileira de desenvolvimento Industrial – ABDI, Subsídios para a elaboração de uma estratégia industrial brasileira para a economia de baixo carbono: Caderno 3: Nota

- técnica cimento. São Paulo, 2012.
- [2] Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. 2014.
- [3] A. de A. P. Vieira, “Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos”, 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- [4] Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER, “Relatório Anual”, Rio de Janeiro. 2015, 2015.
- [5] D. M. Hansen, F. A. Brehm, C. A. M. Moraes, e M. P. Kulakowski, “Aplicação De Resíduo Cerâmico Calcinado Como Pozolana : Application of Calcined Ceramic Waste As Pozzolan : a Review”, in 6º Forum internacional de resíduos sólidos, 2015, vol. 1, p. 1–10.
- [6] M. a. S. Dos Anjos, K. Ghavami, e N. P. Barbosa, “Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz”, Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient., vol. 7, nº 2, p. 346–349, 2003.
- [7] M. A. S. Dos Anjos, K. Ghavami, e N. P. Barbosa, “Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. Parte I: Determinação do teor de reforço ótimo”, Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient. - Agriambi, vol. 7, nº 2, p. 339–345, 2003.
- [8] H. Savastano JR., Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. 2002.
- [9] NBR 16372, Cimento Portland e outros materiais em Pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.
- [10] NBR 16605, Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- [11] C. R. B. Baldin, “Estudo da influência da substituição parcial do cimento por resíduos de cerâmica vermelha na transferência de calor em placas de fibrocimento”, 2019. 117 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.
- [12] A. Caldas e Silva, “Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose”, 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- [13] P. O. Awoyera, A. R. Dawson, N. H. Thom, e J. O. Akinmusuru, “Suitability of mortars produced using laterite and ceramic wastes: Mechanical and microscale analysis”, Constr. Build. Mater., 2017.
- [14] M. A. S. dos Anjos, “Compósito à base de cimento reforçado com polpa de bambu - Caracterização física, mecânica e microestrutural”, 2002.96f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.