

## IMPERMEABILIZANTE PARA CONSTRUÇÃO CIVIL COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE VIDRO E ARGILA

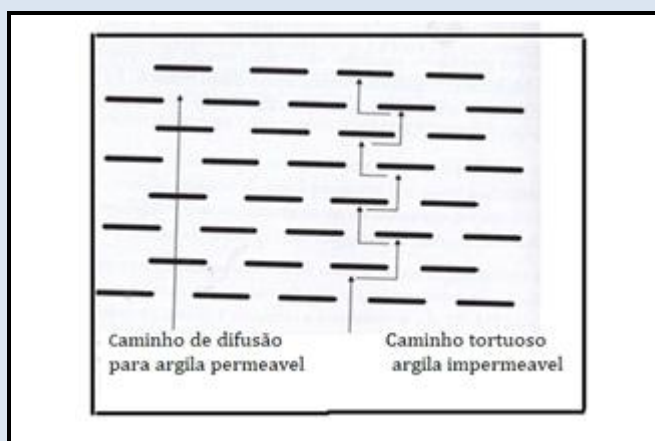
José Eduardo Macedo<sup>1</sup>, Rayza Stefanny Bispo Tavares<sup>1</sup>, Ray Augusto Santos<sup>1</sup>, Vanessa Gentil de Oliveira Almeida<sup>1</sup>, Fernanda Martins Cavalcante Melo<sup>1</sup>, Rosane M. P. B. Oliveira<sup>2</sup>, Cochiran Pereira dos Santos<sup>3</sup>, Herbet Alves de Oliveira<sup>1,\*</sup>

1: Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Sergipe, Av. João Café Filho 260, Bairro Cidade Nova, Estância, SE, Brasil

2: Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão, SE, Brasil

3: Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, Bairro Rosa Elze, São Cristóvão, SE, Brasil

\* e-mail: herbetalves148@gmail.com



### RESUMO

Na construção civil são utilizados diversos tipos de impermeabilizantes a base de componentes orgânicos a fim de reduzir infiltrações de água nas paredes, oriundas do subsolo. Nesse trabalho, foi analisada a incorporação de uma argila e resíduo de vidro de embalagem à base de soda cal, a um polímero de polimetil metacrilato de metila PMMA, utilizado para impermeabilização na construção civil. Foram elaboradas formulações em que foi adicionado um percentual que variou de 0 a 40% de resíduo de vidro de embalagem e formulações com 0 a 20% de argila íltica sobre uma matriz de polímero PMMA. Foram produzidos cinco corpos de prova cilíndricos de dimensão de 75 mm de diâmetro e 2 mm de espessura, para cada formulação, sendo que os mesmos foram submetidos aos seguintes ensaios tecnológicos: densidade aparente, absorção de água, retração, dureza e microscopia eletrônica de varredura. Além disso, o polímero foi caracterizado pelo ensaio de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier e a argila sua composição química foi determinada por fluorescência de raios X. As fases constituintes da argila foi determinada por difratometria de raios X. Para avaliação da absorção de permeabilidade, foram aplicadas três camadas de cada formulação, com auxílio de um pincel, em uma base cerâmica de 11cm x11 cm, totalizando uma taxa de  $1\text{kg.m}^{-2}$  em cada peça, sendo que manteve-se um intervalo de 24h para cada camada. Após as amostras foram submetidas a um ensaio de permeabilidade utilizando um cilindro de acrílico. Os resultados das propriedades tecnológicas mostraram que o vidro até o limite de 10% e argila até 20%, apresentaram elevada dureza e densidade aparente, além de baixa absorção de água, apresentando eficiência na impermeabilização em relação ao polímero padrão. O produto abre espaço para utilização de materiais inorgânicos, além de reduzir o impacto ambiental promovido pelo descarte do resíduo de vidro no meio ambiente.

**Palavras-chave:** Impermeabilizante, argila, resíduo de vidro, polímero PMMA

## WATERPROOFING FOR CIVIL CONSTRUCTION WITH REUSE OF GLASS AND CLAY WASTE

### ABSTRACT

In civil construction, several types of waterproofing products based on organic components are used in order to reduce water infiltrations on the walls, coming from the subsoil. In this work, it was analyzed the incorporation of a clay and packaging glass residue based on soft drinks, a PMMA polymer, used for waterproofing in civil construction. Formulas were prepared in which a variable percentage of 0 to 40% of the packaging glass residue was added and formulas with 0 to 20% of illitic clay on a PMMA polymer matrix. Five cylindrical specimens of dimensions 75 mm in diameter and 2 mm in thickness were tested for each mold, and they were subjected to technical tests: apparent density, water absorption, retraction, hardness and scanning electron microscopy. In addition, the polymer was tested by the Fourier transform infrared spectroscopy test and its chemistry was determined by X-ray fluorescence. The constituent phases of the clay were determined by X-ray diffractometry. To assess the permeability absorption, three layers of each formulation were applied, with the aid of a brush, on a ceramic base of 11 cm x 11 cm, totaling a rate of  $1 \text{ kg.m}^{-2}$  in each piece, with an interval of 24h for each layer. After curing, the samples were subjected to a permeability test using an acrylic cylinder. The results of technological properties show that glass up to the limit of 10% and clay up to 20%, exhibits high hardness and apparent density, in addition to low water absorption, and reduces waterproofing in relation to the standard pattern. The product makes room for the use of inorganic materials, in addition to reducing the environmental impact caused by the disposal of glass waste in the environment.

**Keywords:** *Waterproofing, clay, glass waste, polymer PMMA*

## 1. INTRODUÇÃO

A impermeabilização dos componentes de construção civil, sobretudo para os baldrames é uma necessidade para evitar as patologias devido à umidade oriundas do solo [1-3]. Segundo Right [4], essa água é originada do solo, tanto por fenômenos sazonais de aumento de umidade, quanto por presença permanente de umidade de lençóis freáticos superficiais. Essa umidade ascensional deve-se ao fenômeno de capilaridade, que de acordo com Queruz [5], os vasos capilares pequenos permitem a água subir do solo passando pelos baldrames, até o momento em que entra em equilíbrio com a força da gravidade, e pode chegar até um metro de altura; e em muitos casos podem provocar patologias como eflorescência nas paredes[6,7].

Segundo Salgado [8], a viga baldrame é uma fundação direta de pequena altura podendo ser de alvenaria, concreto simples ou concreto armado, suportando cargas leves, como paredes. A impermeabilização pode ser feita na forma rígida ou flexível, sendo que a flexível apresenta melhores resultados em relação a desempenho [9]. Em baldrames é comum a utilização de impermeabilizantes a base de emulsões asfálticas cuja eficácia na impermeabilização ainda é duvidosa.

Um impermeabilizante deve ser flexível para garantir que não sofra fratura, além de ser resistente a intempéries, [4]. Para garantir a impermeabilização eficiente de baldrames, a incorporação aos polímeros de componentes inorgânicos pode ser uma solução. O impermeabilizante para aplicação em baldrames deve ser flexível, pois o mesmo receberá cargas constantemente, além de resistente e durável. Nesse projeto foi estudada a utilização do polimetil meta acrilato PMMA utilizado em lajes como impermeabilizante para baldrames sobretudo devido as suas propriedades elásticas. Para melhorar suas propriedades como resistência, foi testada a incorporação de materiais inorgânicos como argilas e vidro de embalagem.

Para que os materiais inorgânicos atuem de forma eficaz, os mesmos devem ser dispersos na matriz polimérica. A preparação de polímeros pode ser realizada de diversas formas, mas nesse projeto as matérias primas foram dispersas no polímero de

PMMA por agitação.

As argilas são formadas por argilominerais normalmente formados em camadas de sílico aluminatos hidratados na proporção 2:1. Sua estrutura cristalina possui duas folhas tetraédricas de  $\text{SiO}_4$  envolvendo uma folha octogonal de  $\text{Al}^{+3}$  ou  $\text{Mg}^{+2}$ . Dentro das camadas existem substituintes isomorfos que geram cargas negativas que são definidos de acordo com a capacidade de troca de cátions CTC. As argilas apresentam elevada área específica, plasticidade o que favorece a dispersão em polímeros [10-12]. Por sua vez, o vidro é um silicato resultado da fusão da  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NaOH}$  e  $\text{CaCO}_3$ . O vidro apresenta características como sendo inerte, amorfo, e elevada dureza, além de não ser poroso e nem absorvente [13].

No campo de argamassas de cimento, é cada vez mais usual o reaproveitamento de resíduos e matérias primas adicionadas com a finalidade de melhorar suas propriedades [13,14,15,16]. O crescente interesse nos materiais compósitos tem levado muitos pesquisadores a estudar a melhor forma de intercalar grupos orgânicos com os inorgânicos, em busca de se obter melhores propriedades mecânicas e térmicas além reduzir os problemas de infiltração de água. Pesquisadores estudaram o uso de uma membrana à prova d'água e revestimento de superfície como polímeros, bloqueadores de poros e silano/siloxano para aprimorar as propriedades de barreira da umidade do concreto [17]. Pesquisa com adição de polímeros em argamassa de cimento tem sido realizada, e os efeitos da ação da água capilar e a resistência à absorção dessas argamassas. Como exemplo as argamassas modificadas com polímeros a base de látex em que foi observado melhoria na trabalhabilidade, e na redução da absorção de água. Na proporção polímero/cimento da ordem de 0,1 a 0,2, notou-se a redução da quantidade de água necessária para desenvolver a plasticidade do material [18]. Por outro lado, foi observado redução da densidade da suspensão em função do ar incorporado no látex, enquanto que a resistência à compressão permaneceu na mesma faixa da argamassa de referência. Adicionalmente, estudos têm sido realizados com a incorporação de materiais argilosos aos polímeros. Em anos recentes, argilas montmoriloníticas modificadas quimicamente foram usadas para conferir melhorias nas propriedades físicas e mecânicas de impermeabilizantes

[19,20,21,22,23,24].

Na área de argilas foi incorporado argila bentonítica em uma matriz de copolímero em que o quartzo também foi adicionado. Ele concluiu que a incorporação até 8% de bentonita aumenta em até 61% a resistência mecânica e reduz a capilaridade em 76% [25]. Em estudos de Usuki [26] e LvShuzhen [27] a dispersão completa de nanocamadas de argila em um polímero otimiza o número de elementos de reforço disponíveis que transportam uma carga aplicada e desvia as rachaduras em evolução. O acoplamento entre a grande área superficial da argila e da matriz polimérica facilita a transferência de estresse para a fase de reforço permitindo a melhoria da tensão de tração e tenacidade. No trabalho de Blumstein [28] ele conseguiu intercalar até 10% de argila em um polímero PMMA. Assim como Tsai [29] que realizou polimerização *in situ* argila montmorilonítica e PMMA e obteve melhoria na claridade ótica. Enquanto Wang [30] adicionou 5% de argila em massa em uma solução de PMMA e obteve melhora da temperatura de transição vítrea além de menor coeficiente de expansão térmica.

Em outros estudos aplicando argila bentonítica que é rica em montmorilonita, quando em contato com água ela incha, aumentando o volume da partícula, e fecha os poros, contribuindo para acréscimo da resistência mecânica e redução da absorção de água. O fato se dá devido à elevada capacidade de troca de cátions que favorece o aumento da superfície específica quando em contato com o meio líquido [31]. A mistura de polímeros com argilas muitas vezes necessitam de um compatibilizante. No entanto, nesse trabalho não se fez uso de nenhum aditivo adicional para favorecer as reações.

O trabalho proposto é de incorporar à uma matriz de polímero PMMA, uma argila íltica montmorilonita não modificada quimicamente, e resíduo de vidro de embalagem do tipo soda cal e avaliar sua eficiência na impermeabilização.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado como formulação padrão um polímero de PMMA utilizado como impermeabilizante para construção civil na forma líquida da marca Vedapren®. A argila utilizada foi uma argila íltica, contendo traços de montmorilonita, rica em carbonatos, denominada de Pinheiro (PIN). A argila está localizada na região de Laranjeiras (SE) Brasil,

cujas coordenadas geográficas são Latitude: 10°48'12" Sul e Longitude: 37°10'11" Oeste. A argila é muito utilizada na produção de cimento e cerâmicas de revestimento na região. O vidro escolhido foi o do tipo soda-cal. O mesmo foi previamente seco em estufa a  $(105 \pm 5)$  °C, em seguida o vidro foi cominuído em almofariz até redução para cerca de 2 mm. Em seguida foi moído em moinho de bolas de laboratório com peso padrão de 500 g por 30 min e passados na peneira de abertura 0,074 mm. A argila foi submetida ao mesmo processo de beneficiamento que o vidro.

### 2.1 Ensaios realizados com as matérias primas

A caracterização do polímero de PMMA foi realizada por meio do ensaio de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), cuja finalidade é identificar os agrupamentos químicos presentes na mistura. Foi utilizado o espectrômetro 640-IR-IT-R com varredura no intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . Os percentuais dos óxidos constituintes das amostras de argila e vidro foram determinados através de medidas semiquantitativas pela técnica de fluorescência de raios X (FRX). Foi utilizado sistema o vácuo em equipamento da marca Brucker, modelo S4 Pioneer, sendo que foram utilizadas amostras de massa 10 g, as quais foram conformadas por prensagem com diâmetro 20 mm e espessura 3 mm. A difratometria de raios X da argila foi realizada em equipamento da Rigaku, com radiação Cu- $\alpha$ , filtro de níquel utilizando espaçamento de 1°/min na faixa de 3 a 60°. Foi ainda determinada a capacidade de troca de cátions CTC da argila pelo método do azul de metileno de acordo com a norma ASTM 837-1992 [32]. A partir desse resultado, foi possível determinar a área específica BET pela equação Eq (1) em que: BET: superfície específica  $\text{cm}^2/\text{g}$  e CTC: capacidade de troca de cátions.

$$\text{BET} = \text{CTC} \times 7,85 \quad (1)$$

### 2.2 Preparação dos corpos de prova

Conforme Figura 2, as suspensões foram preparadas pesando-se 100 g do total das matérias primas, usando-se uma balança da marca marte de resolução 0,01g e submetidas à agitação em misturador mecânico por 2 minutos. Em seguida, foram moldados 5 corpos de prova por mistura utilizando as formulações dispostas na Tabela 1. As

formulações foram elaboradas a partir de um polímero PMMA como padrão (PD) o qual é utilizado na impermeabilização de laje. Nas demais formulações o polímero foi substituído pelo vidro e pela argila. Os corpos de prova foram moldados por meio de fôrmas plásticas, com diâmetro de 75 mm e espessura 2 mm e deixados em processo de cura por 24h por camada aplicada, totalizando 72 h vide

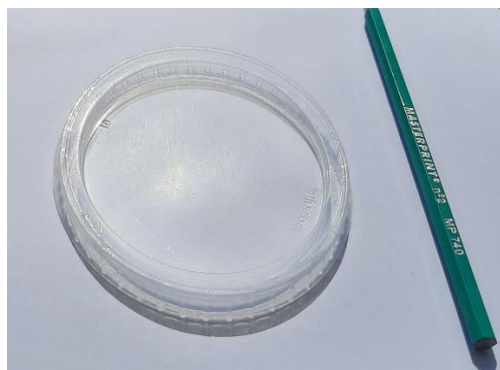


Figura 1. Fôrma utilizada para preparação dos corpos de prova

Os corpos foram utilizados para avaliação da densidade, absorção de água, dureza e retração. Para avaliação da absorção de permeabilidade foram aplicadas as suspensões com auxílio de um pincel em bases cerâmicas de 10x10x2 cm, que apresentavam absorção de água média de 10%, a uma taxa de 0,3 kg.m<sup>-2</sup> por camada, totalizando três camadas, respeitando um intervalo de 24h por camada.

Tabela 1. Formulações propostas (%).

Formulações	Polímero PMMA	Argila	Vidro
PD	100	-	-
A10	90	10	-
A20	80	20	-
V10	90	-	10
V20	80	-	20
V30	70	-	30
V40	60	-	40

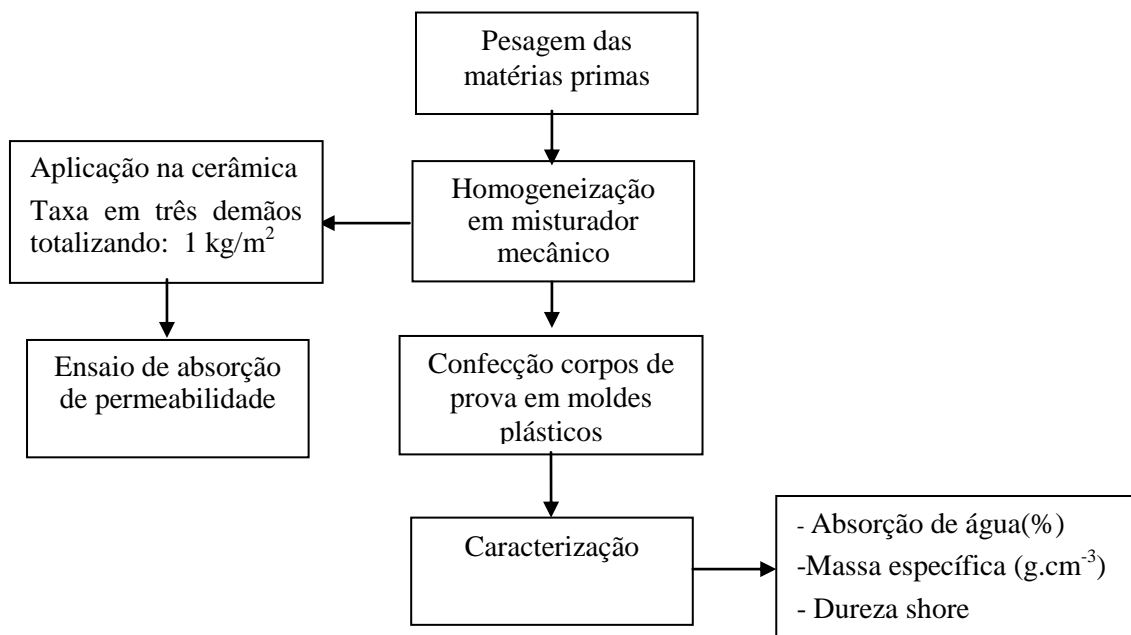


Figura 2. Procedimento para confecção e análise dos corpos de prova.

### 2.3 Ensaios de caracterização dos corpos de prova

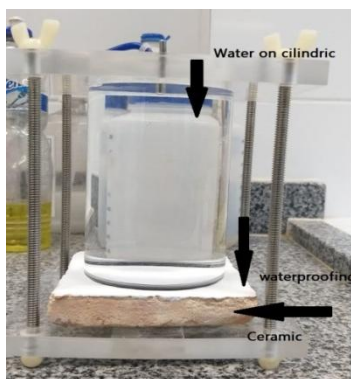
Para se determinar a resistência de forma indireta, foi medida a dureza dos corpos de prova das formulações de acordo com a norma ASTM

D2240/75[33]. Os corpos-de-prova foram preparados nas dimensões de diâmetro 75 mm e espessura de 2 mm. Os ensaios foram realizados nas seguintes condições: penetrador pontiagudo; espaço mínimo 15 segundos. Foram realizadas cinco medidas em cada amostra estudada, utilizando-se

durômetro da marca DIGIMESS 0 a 100 Shore.

Com a finalidade de se avaliar a absorção de permeabilidade ou capacidade de impedir a água passar por um baldrame, foi utilizado procedimento adaptado de [34]. Inicialmente foram preparadas bases cerâmicas de conforme apresentado em 2.2. Após aplicação da terceira camada, foi ainda observado mais 24h para cura. Cada base foi pesada e determinada ( $P_o$ ), ou seja, o peso da cerâmica com o impermeabilizante que estava sendo testado. Em seguida utilizando um cilindro de acrílico, de 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura, constituído de hastes de fixação e borracha de vedação o mesmo foi acoplado na cerâmica. Encheu-se o cilindro de água deionizada até altura de 15cm e foi mantido em contato com a base por 24h. Após, a base cerâmica era retirada e novamente pesada ( $P_f$ ) determinando-se o peso contendo água absorvida, conforme apresentado na Figura 3. O cálculo da permeabilidade foi realizado conforme Eq (2).

$$P = (P_f - P_o) / h \quad (2)$$



**Figura 3.** Ensaio de impermeabilização.

Os corpos de prova já curados foram submetidos ao ensaio de densidade aparente e absorção de água no estado endurecido em conformidade NBR 15289 [35]. Para realização do ensaio foi utilizado uma balança da marca marte de resolução 0,01 g e uma balança hidrostática de acordo com o princípio de Arquimedes. As imagens dos corpos de prova das formulações, foram realizadas pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em um microscópio eletrônico de varredura marca Jeol, modelo JSM-6510LV.

Os resultados médios e os desvios padrões dos ensaios de laboratório foram analisados através do

método estatístico ONE WAY ANOVA, cuja técnica consiste na análise de variância entre os grupos de resultados, utilizando-se índice de significância de 95% ( $p < 0,05$ ). Para esta pesquisa, o aplicativo utilizado foi o programa Microsoft Excel 2010 que se encarregou de determinar os valores de p entre os grupos de materiais nas diferentes condições das amostras de acordo com Walpole [36].

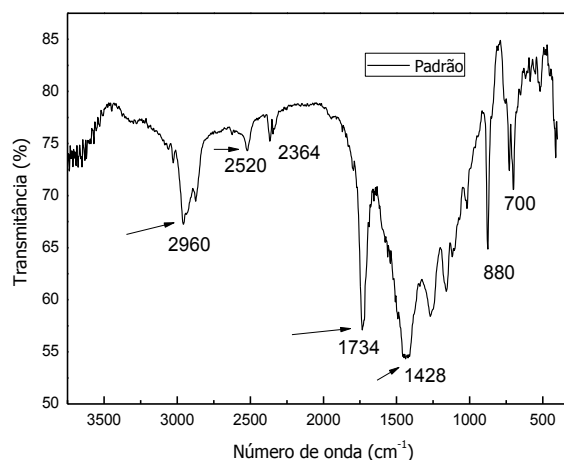
### 3. RESULTADOS

Na Tabela 2 é apresentado as propriedades físico-químicas do copolímero acrílico. Trata-se de uma matéria prima de cor branca, viscosidade elevada, bem como seu pH.

**Tabela 2.** Características do PMMA.

Características	Polímero PMMA
pH	8,0 a 10,0
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,1 ±0,1
Viscosidade rpm a 25° Cps	4500- 5000
Sólidos presentes (%)	40±1

Na Figura 4 é apresentado o FTIR da matriz de polímero de PMMA. As bandas estão de acordo com literatura Ramesh, [37]. Na banda de 1734 cm<sup>-1</sup> corresponde ao estiramento do grupo carbonila (C=O), a 2960 cm<sup>-1</sup> ao grupo (CH<sub>3</sub>) e a 2520 cm<sup>-1</sup> ao ácido carboxílico.



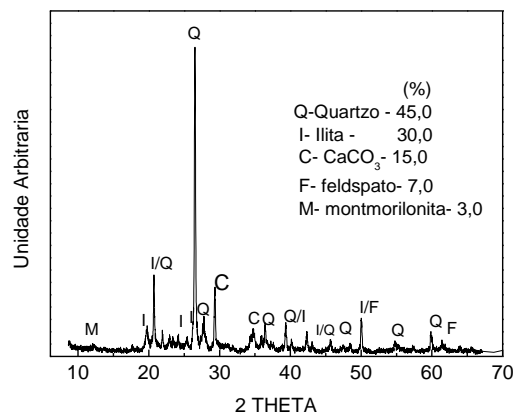
**Figura 4.** FTIR do Polímero a base de PMMA.

Na Tabela 3 é apresentada os resultados de análise química da argila e vidro. A argila é constituída principalmente de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com elevados teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , os quais são elementos associados com estruturas de argilominerais, quartzo e feldspatos, típicos de produtos de cerâmica vermelha [38]. Já o vidro apresenta elevado teor de  $\text{CaO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  [39-40]. Os valores observados de BET são compatíveis com os previamente relatados para argilas caulínicas (10-20), ílticas (65-100) e montmoriloníticas (50-800) [41]. A argila apresenta CTC elevado o que favorece a reação com o polímero para alargamento das placas da sua estrutura [42].

**Tabela 3.** Análise química das matérias primas.

Óxidos	Composição Química (%)	
	Argila	vidro
PF	8,8	5,0
$\text{SiO}_2$	53,3	67,8
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,5	1,9
$\text{CaO}$	7,0	14,5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	6,6	0,2
$\text{Na}_2\text{O}$	1,3	10,8
$\text{K}_2\text{O}$	3,7	-
$\text{MgO}$	2,7	-
Total	99,8	100,1
CTC (meq)	9,5	-
BET ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	74,64	-

Na Figura 5 é apresentado a difratometria de raios X da argila. Nota-se que é uma argila íltica, contendo traços de montmorilonita, rica em carbonatos e que apresenta ainda quartzo como impureza [43].



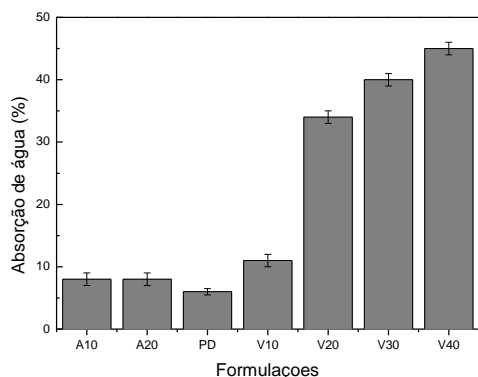
**Figura 5.** Padrão de difratometria de raios X da argila.

Nas Figuras 6 a 10, são apresentados os resultados de ensaios tecnológicos de caracterização das formulações.

No caso específico da absorção de água na análise das variâncias pelo software ANOVA o  $F=191$  e  $f_{\text{critico}} = 4,38$ . Assim, as variações são consideradas significativas e os resultados diferentes.

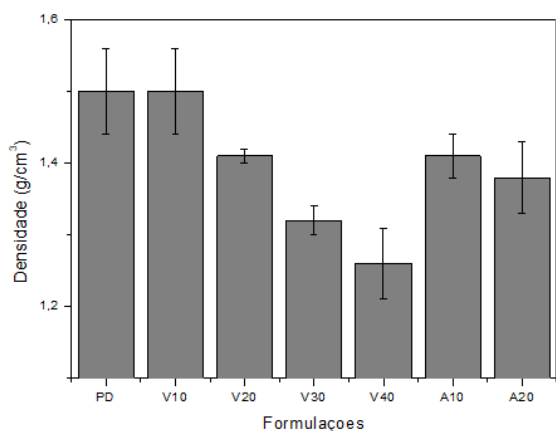
De acordo com a Figura 6, à medida que se acrescentou vidro no polímero PMMA, a absorção de água foi aumentando de forma expressiva. Já as formulações em que a argila foi incorporada, a absorção de água foi próximo ao PD (6%), A10(8%), A20(8%). De acordo com Choudalakis [31], duas características particulares dos silicatos ocorrem quando misturados em polímeros: a primeira é que eles desempenham um papel importante na criação de compósitos. O primeiro é a capacidade das folhas de silicato se dispersarem em camadas, e a segunda é a possibilidade de modificar sua química de superfície através de reações de troca iônica com cátions orgânicos e inorgânicos o qual pode ser medido pelo CTC. A simples mistura de polímero e silicatos em camadas nem sempre resulta na geração de compósito, pois isso geralmente leva à dispersão de folhas empilhadas. Esta falha é devido às interações fracas entre o polímero e o componente inorgânico, foi o que ocorreu com o vidro quando incorporado. Por sua vez, se estas interações se tornam mais fortes, a fase inorgânica pode ser disperso na matriz orgânica em escala nanométrica. Assim, se a argila e seus particulados de filossilicato que estão em camadas que geralmente contêm Íons  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$  e são compatíveis apenas com polímeros hidrofílicos pode

então ocorrer reações. Para tornar os silicatos em camadas compatíveis, a argila deve ser tratada quimicamente ou apresentar elevada CTC para promover inchamento e por sua vez apresentar maior facilidade de reação com o polímero, promovendo redução da absorção de água [44,45].



**Figura 6.** Absorção de água das formulações.

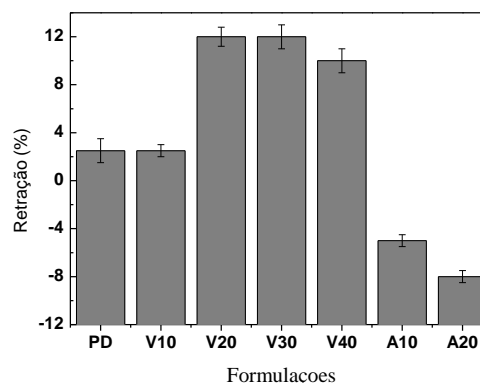
De acordo com a Figura 7 tanto o vidro, como a argila ao serem incorporados ao polímero de PMMA, ocorreu ligeira redução da densidade. Esse fato se deve a incorporação de ar no processo de mistura conforme descrito por Anadão [44]. Por sua vez, na análise pelo software ANOVA  $F=1,05$  e  $f_{\text{crítico}}=4,38$ . Podese afirmar que a densidade não apresentou variações significativas, ou seja, todos os resultados podem ser considerados iguais.



**Figura 7.** Densidade das formulações.

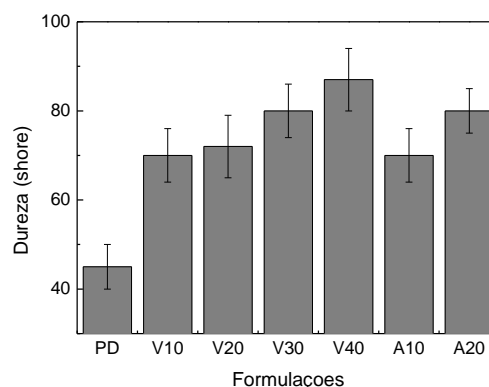
Na Figura 8 é apresentada a retração das formulações. Destacase que as formulações contendo argila, apresentaram exapansão (inchamento) que segundo Choudalakis [31] e Anadão [44] é devido a presença do argilomineral

montmorilonita na argila que apresenta elevada CTC que em contato com meio liquido, expandiu. Os resultados podem ser validados pelo ANOVA em que  $F=24,4$  e  $f_{\text{crítico}}=1,38$ .



**Figura 8.** Retração das formulações.

Conforme apresentado na Figura 9 tanto o vidro como a argila incorporados promoveram aumento da dureza e por sua vez da rigidez o quais podem ser validados pelo ANOVA,  $F=52,7$  e  $f_{\text{crítico}}=4,38$ .



**Figura 9.** Dureza shore.

Na Figura 10 é apresentado os resultados do ensaio de absorção por permeabilidade. O vidro apresentou uma taxa menor do que a padrão até V10, enquanto a argila A10 e A20 apresentaram resultados bem menores do que o padrão. Apesar da absorção de água das formulações V10, A10 e A20 apresentar ligeiramente mais elevadas do que o padrão. Esse fato ocorreu provavelmente formação de canais fechados que dificultam a passagem da água, sobretudo em argilas conforme discutidos por Anadão [44] e Choudalakis [31].

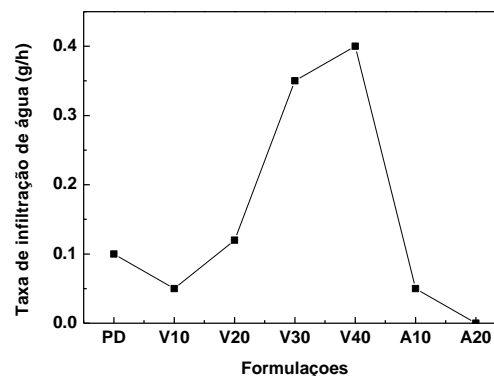
Segundo Choudalakis [31] argilas tratadas



organofilicamente ou com elevado CTC diminuem a energia da superfície, melhora as características de umedecimento da matriz polimérica e resulta em maior espaçamento entre camadas (inchaço), ou seja, as camadas da argila se separam. Além disso, os grupos funcionais podem reagir com a matriz polimérica ou, em alguns casos, pode iniciar a polimerização de monômeros para formar o polímero in situ. As partículas de filossilicato apresentam uma maior proporção de largura / espessura, da ordem de 10–1000. Por muito baixas concentrações de partículas, a interface total entre polímeros e silicatos em camadas é muito maior do que em compósitos convencionais.

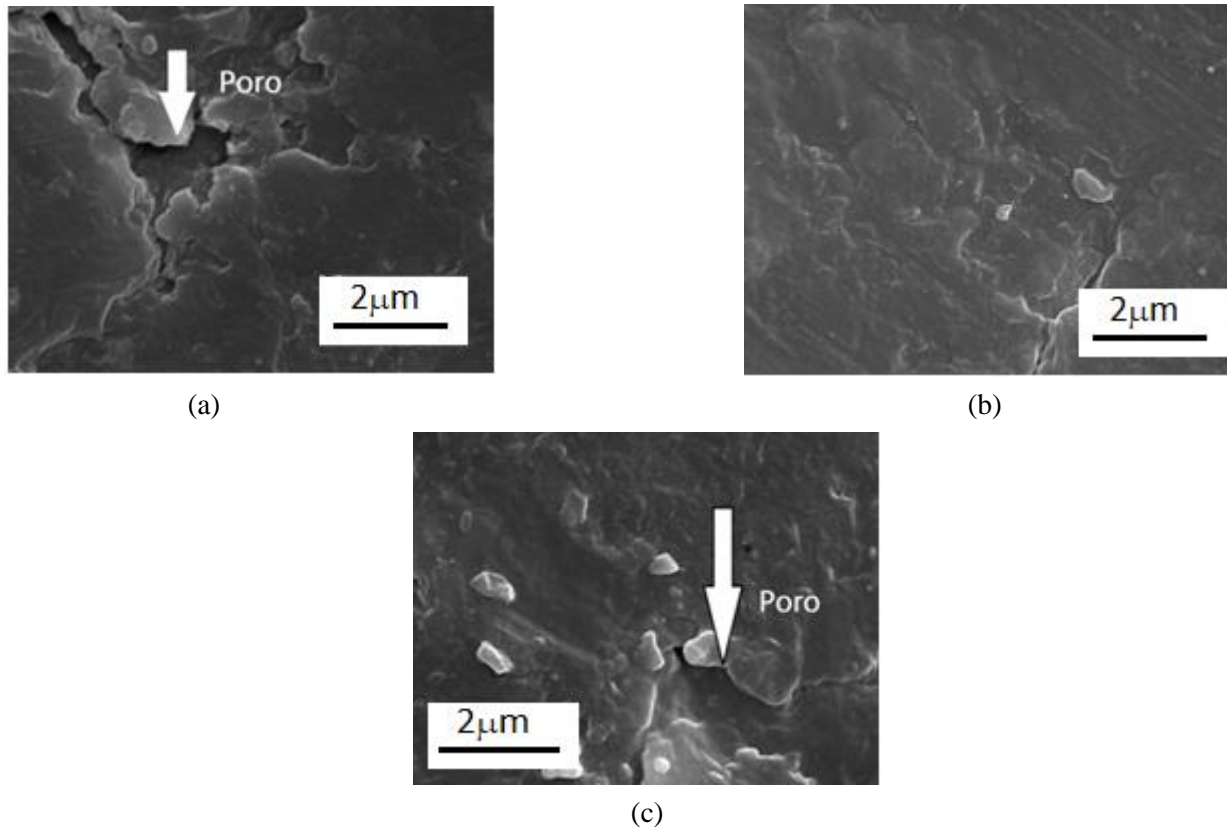
A dispersão completa de nanocamadas de argila em um polímero otimiza o número de elementos de reforço disponíveis que transportam uma carga aplicada e desviar as rachaduras em evolução. O acoplamento entre a grande área superficial da argila e da matriz polimérica facilita a transferência de estresse para a fase de reforço permitindo a melhoria da tensão de tração e tenacidade. As camadas de argila que incham melhoram o empacotamento e favorecem a redução da permeabilidade [46,47]. Outros pesquisadores afirmam que lamelas de argilas dispersadas em polímeros reduzem altamente a permeabilidade de gases, pois se acredita que caminhos tortuosos são formados, dificultando a passagem não só de gases mas de água. Esse processo envolve a sorção das moléculas de gases na superfície da membrana, a difusão através dele e a dessorção das moléculas de gas através da outra superfície do filme. Existem evidencias de sucesso dessa propriedade sobretudo compósitos com argila montmorilonítica e

poliamidas[48,49, 50].



**Figura 10.** Permeabilidade em g/h.

Nas Figuras 11 são apresentadas as micrografias das amostras com aumento de 5000 X. A amostra padrão (a), com incorporação de vidro 20% (c) e incorporação de argila 20% (b). Pode-se observar poros nas amostras (a) e (c). Na amostra (a) é decorrente de ar incorporado junto com o polímero e em (c) além do ar incorporado, o vidro não reagiu com o polímero, logo favoreceu para o acréscimo da absorção de água e redução de densidade, como apresentado nas Figuras 6 e 7. Adicionalmente na amostra (b), a argila apresentou os mesmos resultados de absorção de água e permeabilidade em relação ao padrão e praticamente não apresentou poros



**Figure 11.** Micrografías das (a) polímero de PMMA puro; (b) Polímero de PMMA com 20% argila; (c) Amostra polímero de PMMA com 20% vidro

#### 4. CONCLUSÕES

O vidro de características amorfa apresentou valores similares ao padrão quanto à densidade, retração, absorção de água e permeabilidade quando foi incorporado até o limite de 10%, apesar do vidro aumentar em 20% a dureza, o mesmo pode ser incorporado numa matriz de polímero acrílico.

A argila por ser plástica e com traços de montmorilonita sofreu expansão, aderiu a camada polimérica, favorecendo o aumento da dureza, densidade além de promover redução da permeabilidade similar ao padrão até o limite de 20%.

As imagens do MEV mostram que na amostra padrão foi observada a presença de poros, provavelmente devido a incorporação de ar quando se misturou os componentes de modo geral. A presença de vidro até 10% favoreceu a eliminação deste ar, além de facilitar o empacotamento. Acima de 10% ocorreu a formação de poros conforme apresentado na Figura 10.

#### 5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao programa PIBIC e PROPEX do Instituto Federal de Sergipe (IFS).

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1]. Geiker M R. *Materials and corrosion*. 2012; 63: 1114-1118.
- [2]. Souza V C, Ripper M D. *Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- [3]. Helene P R L. *Manual para reparo, reforço e proteção de Estruturas de Concreto*, São Paulo: PINI 1992.
- [4]. Right G V. *Estudo dos Sistemas de Impermeabilização: Patologias, Prevenções e Correções –Análise de Casos*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2009.
- [5]. Queruz, F., “Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga”, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2007.
- [6]. LI X, Q Xu, S Chen. *J. Constr. Build. Mater.* 2016;

- 105: 503–510.
- [7]. Muhammad NZ, Keyvanfar A A, Majid MZ, Shafaghat, Mirza A J. *Constr. Build. Mater.* 2015; 101: 80-90
- [8]. Salgado J C P. *Técnicas e práticas construtivas para edificações*. 2 ed., São Paulo, Érica, 2012.
- [9]. Pirondi Z. *Manual Prático de Impermeabilização*. São Paulo, Editor e Arte Gráfica Ltda, 1979.
- [10]. Saujanya C, Sainkar S, and Radhakrishnan S. *Polymer composites*. 2001; 22(2): 221-231
- [11]. Paul DR, Robenson LM. *Polymer Nanotechnology nanocomposites*. 2008; 49(15) 3187-4004
- [12]. Santos PS. *Tecnologia de Argilas*. Editora blucher, 6a edição, São Paulo, 1989
- [13]. Norton M.G, Carter, C.B. 2013, *Ceramic Materials Science and Engineering*, second Edition, New York, Springer.
- [14]. Marvila MT, Alexandre J et al. *J Mater Cycles Waste Manag*, 2019, (21) 1250–1261.
- [15]. Marvila MT, Alexandre J., Azevedo A, Zanelato EB, Xavier GC, Monteiro. *Cerâmica Aplicada* 2018.118 (7), 373-380.
- [16]. Pereira DS, A Garcez AR., Alexandre J, et al. *Materials Science Forum Materials Science Forum Submitted*,2018;(930),158-163
- [17]. MV Diamanti, A. Brenna, F. Bolzoni, Berra M, Pastore T, Ormelle M. *Constr. Construir. Mater* .2013; 49: 720 – 728.
- [18]. Mateus Henrique S. “Análise de argamassas de reparo de base polimerica”, Tese Msc Universidade Estadual de Maringa, Maringa, PR, Brasil, 2018.
- [19]. Choudalakis G, Gotsis AD. *EUR. Polym. J.* 2009; 45 (4): 967 – 984.
- [20]. Kuo W, Huang J, Yu B. *Constr. Building Materials*.2011; 25, (6): 2771–2776
- [21]. Nehdi ML. *Constrution Building Materials*.2014; (51): 372–382.
- [22]. Kalpokait E, Dic`kuvieni R, Lukoši I, Sniene J. C, Brinkiene K. Baltušnikas A. *Cem. Concr.Compos.* 2015; 62: 90–96.
- [23]. HosseinI P, Afshar A, Vafaei B, A. Booshehrian E, MolaeiRaisi A. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* 2017; 21 (2): 127–147.
- [24]. He X, Xianming S. *Transportation Research Record*. 2008; 2070(1): 13-21.
- [25]. Hu Y, Diao L, Lai Z, Yuanjin H, Tao Y, et al. *Construction and Building Materials*. 2019; 224: 276–283
- [26]. Usuki A, Kawasumi M, Kojima Y, Okada A, Karachi T, Kamigaito O. *J Mat Res* 1993;8(5):1174– 1180
- [27]. L.vShuzhen. *Construction and Building Materials*.2019; 224: 276–283.
- [28]. Blumstein,A. *Journal of Polymer Science*, parte A.1965;3: 2665-2672
- [29]. Tsai T, Lim M, Chang C.,*Chemistry of solids*.2010;71:590-594
- [30]. WangY, Guo J, *Polymer composites*.2010;31:596-603
- [31]. Choudalakis G,Gotsis A.D. *European Polymer Journal*.2009;45:967–984.
- [32]. Norma ASTM C-837 Standard Test Method for Methylene Blue Index of clay,1992
- [33]. Norma ASTM D2240-15, Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness, 2015
- [34]. BS 1881-208, *Testing Concrete - Recommendation for the Determination of the Initial Surface Absorption of Concrete*, BSI Publication, London, 1996.
- [35]. Norma ABNT - 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: ABNT, 2005.
- [36]. Walpole, R.E.; Myers, R.H.,2009, *Probability and statistics for engineering and science*. 2ªed. São Paulo, Pearson Education (in Portuguese).
- [37]. Ramesh S, Koay H. L, Kumutha K, Arof AK.2007;66:1237–1242,
- [38]. Alcântara, A. C., M. S. Beltrão, Oliveira H. A., Gimenez I. F., Barreto L. S. *Applied Clay Science*, 2008;39:160.
- [39]. Omer, O` zkana, Isa Yu`ksel *Construction and Building Materials*, v.22,pp 1288–1298, 2008.
- [40]. ShayanaXu A. *Cement Concrete Res*,v. 34,pp. 81, 2004
- [41]. Bennour A, Mahmoudi S, Srasra E, Boussen S, Htira N. *Applied Clay Science*.2015; 115:30-38 .
- [42]. Yang H, Long, D, Zhenyu L, Yuanjin H, Tao Y. *Construction and Building Materials*, 2019; 224: 276–283
- [43]. Boussen S, Sghaquier D, Chaabani F, Jamoussi B, Bennour A. *Applied Clay Science*,2016 ;123, 210-221
- [44]. Anadão P, *Tecnologia de nanocompósitos polímero/argila*.Editora Artliber, São Paulo, 2012
- [45]. LeBaron PC, Wang Z Pinnavaia TJ. *Appl Clay Science*. 1999; 15: 11–29.
- [46]. Powell CE, Beall GW. *Curr Opin Solid State Mater Sci*. 2006; 10:73–80.

- [47]. Jordan J, Jacob K, Tannenbaum R, Sharaf M, Jasiuk I. *Mat Sci Eng A* 2005; 393: 1–11.
- [48]. Picard E, Vermogen A, Gérard J. *Journal of Membrane Science*, 2007; 292: 133-144.
- [49]. Jiang T, Wang Y, Fan Z. *European Polymer Journal*. 2005; 41 (3): 459-466