UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÂNICA E DE FLAMABILIDADE

Carvalho, P.R.C.[(1)]; Alencar, K.C.[(2)]; Barbosa, K.S.L.[(3)]; Rodrigues, E.C. [(4)]; Costa, D.S. [(5)]

(1) UFPA – pricardo.com@gmail.com; (2) UFPA – krishanacalencar@gmail.com; (3) UFPA – karllaslb@gmail.com; (4) UFPA – emerson.rodrigues@unama.br; (5) UFPA – deibsonsc@yahoo.com.br

RESUMO

Atualmente no Brasil aumentou-se significativamente a quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) coma expansão da construção civil, o que tem acarretado inúmeros impactos ambientais devido à destinação incorreta deste resíduo. Diante desta problemática, o artigo tem como propósito o estudo da reciclagem deste RCD, oriundo das obras da região metropolitana de Belém-PA, em compósitos de matriz poliéster isoftálica com agentes de cura (acelerador de cobalto 1,5 % e iniciador MEK-P 1 %) juntamente com resíduo nas proporções de 0, 10 e 20 % na granulometria de 100 mesh. O processo de fabricação dos compósitos foi pelo método de hand lay up em molde metálico. Foram realizados ensaios de caracterização física (Massa Específica Aparente - MEA, Absorção De Água - AA, Porosidade Aparente - PA), além de ensaios de flamabilidade e ensaios de resistência mecânica (tração). Os resultados mostram uma redução de aproximadamente 47 % na propagação à chama na proporção de 20 % de RCD, para os resultados de resistência a tração os compósitos atuaram como carga de enchimento, apresentando valores semelhantes a matriz plena, além de bons impactos econômicos e ambientais.

Palavras-chave: Materiais, Poliéster, Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

USE OF WASTE FROM CIVIL CONSTRUCTION AND DEMOLITION IN POLYMERIC COMPOSITES: PHYSICAL, MECHANICAL AND FLAMMABILITY CHARACTERISTICS

ABSTRACT

Currently in Brazil, the amount of Construction and Demolition Waste (RCD) has increased significantly with the expansion of civil construction, which has resulted in numerous environmental impacts due to the incorrect destination of this waste. In view of this problem, the article aims to study the recycling of this RCD, from works in the metropolitan region of Belém-PA, in composites of polyester isophthalic matrix with curing agents (cobalt accelerator 1.5 % and MEK-P initiator 1 %) along with residue in the proportions of 0, 10 and 20 % in the granulometry of 100 mesh. The composite manufacturing process was by hand lay up method in metallic mold. Physical characterization tests (Apparent Specific Mass - MEA, Water Absorption - AA, Apparent Porosity - PA), as well as flammability tests and mechanical strength tests (traction) were performed. The results showed a reduction of approximately 47 % in flame propagation in the proportion of 20 % RCD, for the results of tensile strength the composites acted like filling load, presenting values similar to full matrix, besides good economic and environmental impacts.

Key-words: Materials, Polyester, Construction and Demolition Waste (RCD).

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e, desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de resíduos de diversas naturezas. Essa atividade é também responsável pelo consumo excessivo de recursos naturais provenientes de fontes não renováveis. HEDRE, 2010(1); LINTZ et al., 2012(2). A construção civil brasileira produz um índice muito elevado de resíduos sólidos, onde é gerada, aproximadamente, uma quantidade de 500 kg/hab.ano de resíduos das atividades de construção e demolição (RCD) segundo AGOPYAN e JOHN, 2011(3). Contudo, conforme ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001(4), muitos destes resíduos possuem um grande potencial de reaproveitamento no próprio setor, levando a uma redução da necessidade do uso de recursos naturais.

A Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) define Resíduos da Construção e Demolição (RCD) como o conjunto de fragmentos ou restos de: tijolo, concreto, argamassa, aço, madeira, entre outros; provenientes do desperdício na construção, reforma ou demolição de estruturas, como: prédios, residências e pontes. No Brasil, país com dimensões continentais, este resíduo é conhecido como entulho, caliça ou metralha ABRECON, 2014(5). Apesar de ser destaque na economia de um país, a construção civil possui agravantes em razão das alterações provocadas no meio ambiente. Nesse setor, são constatados problemas ambientais desde a extração da matéria-prima em jazidas, até a destinação final dos resíduos FARIAS et al., 2011(6). Além disso, segundo FREITAS, 2018(7), a grande quantidade de resíduos sobrecarrega os serviços municipais de limpeza pública e pode trazer riscos à saúde populacional.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento físico-mecânico e de resistência à chama de um compósito de matriz polimérica poliéster reforçado com resíduo de construção e demolição, além de contribuir para o reaproveitamento do resíduo no desenvolvimento de um material de menor custo, visando à redução dos impactos ambientais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação das placas compósitas foram: a resina poliéster isoftálica insaturada, o acelerador de cobalto na proporção 1,5 % (v/v) e o iniciador MEK-P (Butanox M-50) na proporção 1 % (v/v). Além disso, foi utilizado o resíduo de construção e demolição (RCD), o qual não passou por um processo de triagem e o mesmo contém vários fragmentos, como restos de tijolos, concreto, argamassa, etc. O material é proveniente do desperdício de demolição em uma reforma de um residencial da região metropolitana de Belém no Estado do Pará. A Figura 1 mostra a resina poliéster e o resíduo de construção e demolição utilizados.

Figura 1 – Materiais: (a) Resina Poliéster; (b) Resíduo de Construção e Demolição.



2.2. Métodos

A fabricação do compósito foi realizada na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química (LEQ) na Universidade Federal do Pará (UFPA).

2.2.1. Preparação do resíduo de construção e demolição

Primeiramente, o material foi destinado ao moinho de bolas por um período de 30 minutos, em seguida o resíduo passou por um processo manual de cominuição e por fim foi peneirado em peneira de granulometria de 100 mesh da série Tyler. Conforme a Figura 2 a seguir:

Figura 2 – Material passante na peneira de 100 mesh.



2.2.2. Determinação da massa específica do resíduo

A determinação da massa específica do resíduo foi feita pelo método do picnômetro, de acordo com BUENO e DEGREVE,1980[8]. Primeiramente foi pesado a massa do conjunto picnômetro vazio (m_1) e a massa do conjunto picnômetro + água (m_4), verificando a temperatura da água, para determinar o volume do picnômetro (Volume corrigido), conforme a equação (A) a seguir:

$$V_C = V(1 + C\Delta T) \qquad \text{(A)}$$

Onde: V_C é o volume do picnômetro corrigido para temperatura de trabalho; V é o volume do picnômetro a temperatura de fabricação; C é o coeficiente de Dilatação Térmica do Vidro; e ΔT é a variação da temperatura de trabalho e a de fabricação.

Com isso, foi determinada a densidade aparente da água. Conforme a equação a seguir:

$$\rho_{água} = \frac{m_4 - m_1}{V_C} \qquad \text{(B)}$$

Após essa etapa, foi removida toda água do picnômetro e em seguida o secou. Adicionou-se o RCD ao picnômetro e determinou a massa do picnômetro com o sólido (m_2). Em seguida, foi adicionada água até completar o volume do picnômetro. Mediu-se a massa do conjunto picnômetro/sólido/água destilada (m_3).

A densidade relativa do sólido (ρ_S) e a densidade aparente do sólido (ρ_{ap}) foram determinadas segundo as equações a seguir:

$$\rho_S = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_4 + m_2) - (m_1 + m_3)} \quad \text{(C)}$$

$$\rho_{ap} = \rho_S \times \rho_{água} \quad \text{(D)}$$

2.2.3 Fabricação dos compósitos

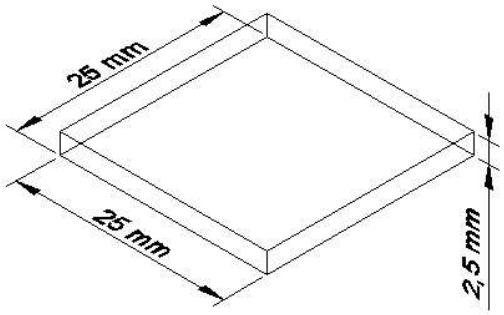
Para a fabricação dos compósitos foi utilizado o método manual, chamado de hand lay up, associado à prensagem em molde fechado de aço inoxidável nas dimensões de 320x170 mm e com espessura de 5 mm. As proporções utilizadas foram 0, 10 e 20 % de resíduo (RCD) em relação à fração mássica do compósito, onde para método comparativo foi utilizado à proporção de 0 %.

Primeiramente o resíduo (RCD) foi levado para a estufa a uma temperatura de 105° C durante 30 minutos, para retirada da umidade superficial. Em seguida, iniciaram-se a produção das placas nas dimensões de 320x170x2,5 mm. O resíduo (RCD) foi inserido na mistura polimérica (resina, cobalto e iniciador) de forma manual até sua completa homogeneização (durante um tempo de 3 a 5 minutos)para posteriormente a mistura ser despejada em um molde metálico até atingir o tempo de gel (10 a 20 minutos). Após o tempo de gel, as placas foram prensadas em prensa hidráulica (marca MARCON, modelo MPH-10) com carga de 2,5 toneladas durante 20 minutos. Posteriormente, as placas foram retiradas do molde metálico e deixadas em temperatura ambiente para o processo de cura. Após o processo de cura as placas de compósito foram cortadas com auxilio de serra de bancada seguindo recomendações das normas ASTM para cada ensaio realizado.

2.2.4. Caracterização física

A caracterização física se deu por meio da determinação da porosidade aparente (PA), absorção de água (AA) e massa específica aparente (MEA), seguindo recomendações das normas ASTM D 792-08[9], ASTM D 570-98[10] e ASTM D 2734-09[11], respectivamente. Foram confeccionados 5 (cinco) corpos de prova nas dimensões de 25x25x2,5 mm para cada série fabricada, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Dimensões dos corpos de prova em mm.

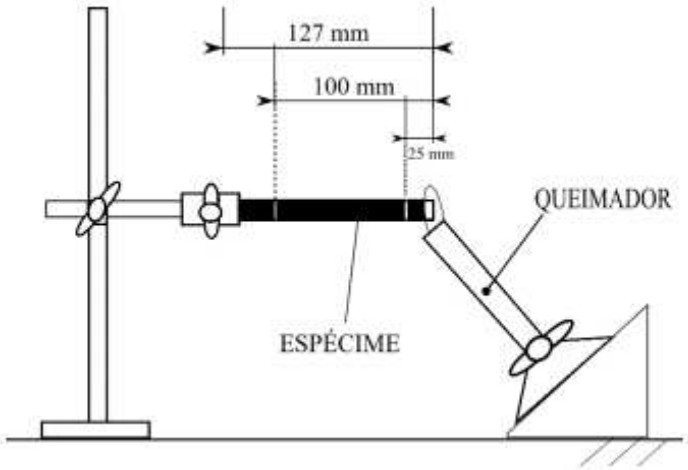


Os corpos de provas foram colocados na estufa por 24 h a 105 ºC e posteriormente resfriado à temperatura ambiente. Após seu resfriamento natural, foi pesado em balança analítica de precisão para determinação da massa seca. Após este período, foi feita a imersão em água destilada por um período de 24 h para que assim seja obtida a massa úmida e pesado para a obtenção da massa submersa.

2.2.5. Flamabilidade

A caracterização térmica dos compósitos foi feita por meio do ensaio de flamabilidade horizontal conforme a norma ASTM D 635[12]. Para a realização do ensaio, os corpos de prova foram marcados a 25 mm e 100 mm de um extremo, promovendo uma área útil de 75 mm entre as marcações, em seguida a chama foi posicionada próxima a uma marcação de 25 mm. O cronometro foi iniciado quando a chama toca a marcação e termina quando a mesma toca a outra marcação, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Representação esquemática do ensaio de flamabilidade horizontal.

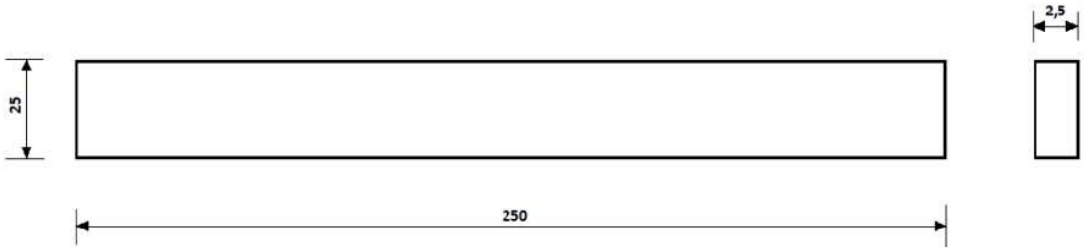


Fonte: MENDES, 2019[13]

2.2.6. Ensaio de Tração

O ensaio de resistência à tração seguiu recomendações da norma ASTM D-3039-08(14). Foram confeccionados 6 (seis) corpos de prova nas dimensões de 250 x 25 mm, com espessura de 2,5 mm. O corpo de prova de tração está exemplificado na Figura 5.

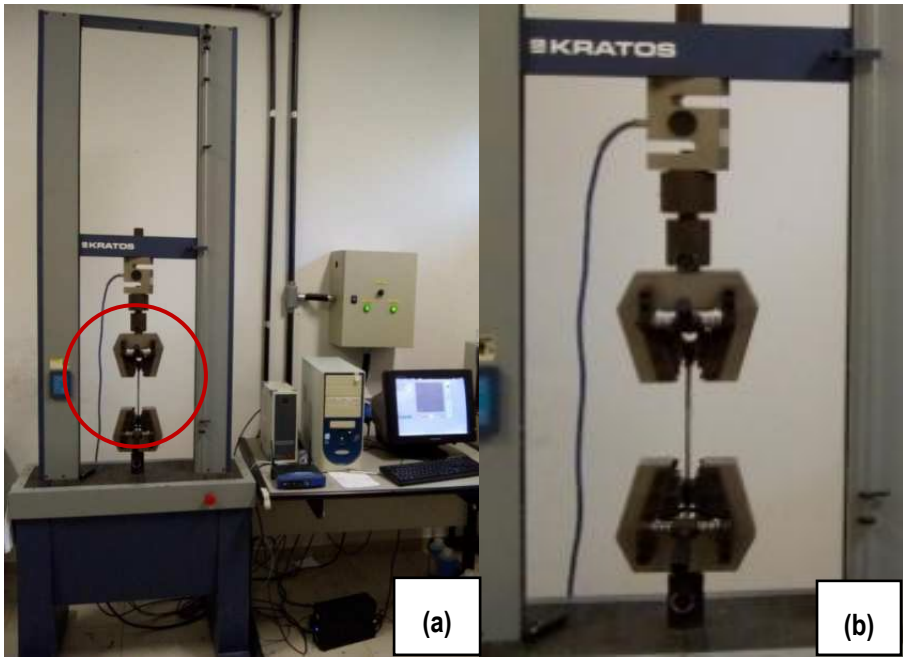
Figura 5 – Dimensões dos corpos de prova em mm.



Fonte: ASTM D 3039-08(14)

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de ensaio universal KRATOS, modelo KE 200 MP, com célula de carga de 5 kN e velocidade de aplicação de força de 2 mm/min. A Figura 6 apresenta a máquina de ensaio de tração.

Figura 6 – Máquina de ensaio: (a) Vista total frontal da máquina; (b) Vista frontal da máquina na área de engate do corpo de prova destacada num círculo vermelho em (a).



Fonte: Adaptado de TAVARES, 2018

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades físicas

Os resultados obtidos nos ensaios físicos de massa específica aparente (MEA), absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) dos corpos de prova de compósito com resíduos da construção e demolição (RCD) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado das propriedades físicas dos compósitos.

Composição (%)	MEA (g/cm^3)	AA (%)	PA (%)
0 % (Matriz Plena)	1,1867 (± 0,0038)	1,7470 (±0,2014)	2,0727 (± 0,2337)
10 % (RCD)	1,3386 (± 0,0045)	1,9635 (± 0,2353)	2,6078 (± 0,3040)
20 % (RCD)	1,4803 (± 0,0017)	1,3417 (± 0,0554)	1,9860 (± 0,0798)

Conforme os resultados presentes na Tabela 1 observa-se um aumento da massa específica aparente, quando comparado a matriz plena, em todas as composições com carga de resíduo da construção e demolição, onde o compósito com carga de 20 % RCD obteve um aumento de 19,83 % em relação à matriz plena. Fato este é devido o Resíduo da Construção e Demolição (RCD) apresentar densidade com 1,4803 g/m^3 de RCD superior comparado com 1,1867 g/m^3 de matriz plena, conforme resultados previstos pela regra da mistura,que cada fase constituinte do compósito contribui para as propriedades efetivas do compósito, sendo essa contribuição dependente da fração volumétrica dos constituintes segundo CALLISTER, 2012[16].

Na absorção de água (AA) e na porosidade aparente (PA) observa-se para os compósitos com adição de 10 % RCD valores superiores quando comparados à matriz plena,valores que podem ser justificados pelo alto teor hidrofílico do RCD ou pelo modo de fabricação manual dos compósitos, o que pode ocasionar o aumento de bolhas, defeitos e vazios nos compósitos. No entanto, os compósitos com adição de 20 % de RCD apresentaram resultados inferiores. Fato este é devido às propriedades de absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) serem diretamente ligadas, pois uma menor porosidade aparente implica em uma menor absorção de água. Segundo MADSEN e LILHOLT, 2003[17] e MADSEN et al., 2007[18], o desempenho dos materiais depende de diversos fatores, como a composição e a interação das fases, que afeta de modo direto as propriedades dos compósitos.

3.2. Flamabilidade horizontal

Os resultados obtidos nos ensaios de flamabilidade horizontal para os corpos de prova de compósito com resíduos da construção e demolição (RCD) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Desempenho dos corpos de prova quanto à flamabilidade horizontal.

Composição (%)	Taxa de Queima (mm/min)	Redução (%)
0 % (Matriz Plena)	27,57 (± 0,70)	-
10 % (RCD)	18,05 (± 0,30)	34,53
20 % (RCD)	14,66 (± 0,84)	46,82

De acordo com os resultados presentes na Tabela 2 é possível observar que os compósitos com carga de resíduo de construção e demolição (RCD) obtiveram valores menores em comparação à matriz plena, ocorrendo uma redução na taxa de queima de aproximadamente 47 % (20 % RCD) em relação à matriz plena.

Os resultados do ensaio de flamabilidade mostram que ambas as amostras obtiveram valores menores do que solicitado pela norma ASTM D 635[12], pois a mesma diz que, para uma amostra ser classificada como HB, deve apresentar uma velocidade de propagação à chama menor que 40 mm/min. Segundo o CONTRAN, 2014[19], esse material compósito também se enquadra nos critérios dos materiais empregados no revestimento interno de habitáculos de veículos que não devem exceder 100 mm/min.

Conforme os resultados obtidos em relação à taxa de queima do material, o mesmo foi comparado com a literatura, os compósitos de resíduos de construção e demolição (RCD) estão inferiores ou semelhantes aos compósitos com a adição de lama vermelha, resíduo de caulim e resíduo de cobre apresentados pelos autores, COSTA, 2016[20]; MENDES, 2019[13]; El BANNA, 2017[21]. Com base nisso, percebe-se que os compósitos produzidos apresentaram um bom desempenho comparado com outros particulados.

3.3. Ensaio de tração

Os compósitos poliméricos com inserção de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) foram avaliados de acordo com sua resistência mecânica por meio do ensaio de tração, onde foram obtidos os seguintes resultados presentes na Tabela 3.

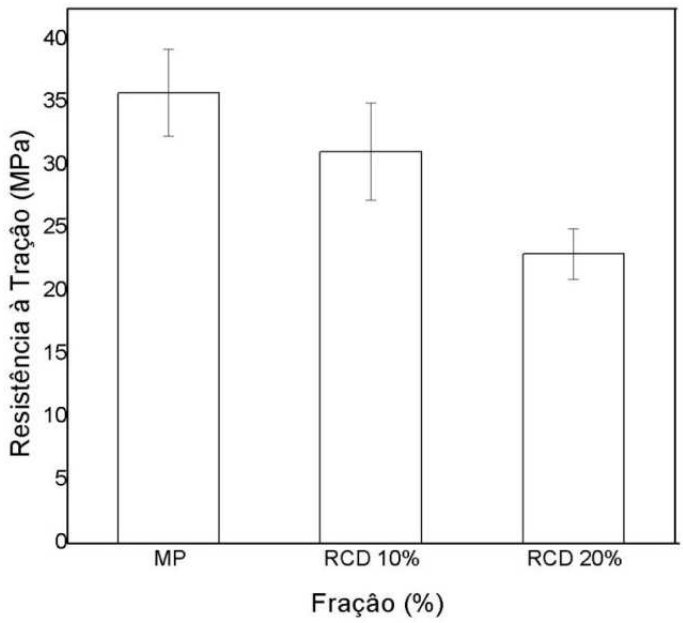
Tabela 3 – Resultados de resistência à tração.

Composição(%)	Resist. à Tração (MPa)
0 % (Matriz Plena)	35,78 (± 3,45)
10 % (RCD)	31,12 (± 3,83)
20 % (RCD)	22,98(± 2,03)

É possível observar através dos resultados presentes na Tabela 3 que a resistência mecânica à tração diminuiu gradativamente com o aumento da incorporação de resíduo de construção e demolição. Segundo COSTA, 2016[20] as propriedades mecânicas de tração diminuem de acordo com o acréscimo de carga na matriz, devido os compósitos apresentarem porosidades.

Além disso, outros fatores podem ter colaborado como a falta de trabalhabilidade e molhabilidade matriz/carga ou devido o resíduo se comportar como carga de enchimento. Contudo, a fração de 10 % de resíduo (10 % RCD) apresentou um valor de resistência semelhante à matriz de comparação (matriz plena). A Figura 5 apresenta o gráfico comparativo de resistência à tração dos compósitos fabricados.

Figura 5 – Gráfico comparativo de resistência à tração.



4. CONCLUSÃO

A técnica utilizada para fabricação dos materiais compósitos de matriz polimérica sugerida foi satisfatória, tendo em vista que os compósitos atingiram o processo de polimerização.

Em relação ao comportamento físico observou-se um aumento da massa específica aparente quando comparado com a matriz plena, e um aumento nas propriedades físicas de absorção de água e porosidade aparente na proporção de 10 % de resíduo.

Com relação ao ensaio de resistência á chama dos compósitos produzidos foi possível observar uma tendência de retardo da chama conforme aumentou-se a proporção de resíduo de construção e demolição na matriz, tendo uma redução de aproximadamente 47 % na proporção de 20 % RCD, mostrando assim, que a utilização deste resíduo foi eficiente na resistência á chama.

No que diz respeito à resistência mecânica de tração os compósitos com 10 % RCD obteve valor semelhante à matriz plena, ou seja, não demonstrou influência dentro da matriz polimérica, comportando-se como carga de enchimento dentro da matriz polimérica.

Os compósitos com inserção de resíduo de construção e demolição apresentaram, no geral, boas propriedades físicas, mecânicas e de resistência à chama, sinalizando, bons impactos econômicos e ambientais.

5. REFERÊNCIAS

1. HEDRE, L. V.,**Economics** 10, 3 (2010) 183.
2. LINTZ, R. C. C., JACINTHO, A. E. P. G. A.,PIMENTEL, L. L.,GACHET-BARBOSA, L. A., **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais** 5, 2 (2012) 18.
3. AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da sustentabilidade na construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011.
4. ÂNGULO, S.C., ZORDAN, S.E., JOHN, V.M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. 2001.
5. ABRECON. 2014- **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição**. Disponível em: https://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/. Acesso em: 24 de maio de 2019.
6. FARIAS, A. B. de, BAHIA, N. C., SUKAR, S. F. &GUSMÃO, A. D. (2011) **Diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil no município de Olinda/PE**. In: Encontro Nacional, 6 e Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 4. 7-9 set.
7. FREITAS, L.; **Reaproveitamento de resíduos da construção civil no brasil: Revista Dom total 2018**, Disponível em<http://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/> Acesso em: 24 de maio de 2019.
8. BUENO, A. W. e DEGREVE, L. **Manual de Laboratório de Físico-Química**. Mcgraw-Hill, São Paulo, 1980.
9. ASTM D 792 – 2008, **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
10. ASTM D 570 – 1998, **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
11. ASTM D 2734 – 2009, **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
12. ASTM D 635 **"Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position"** Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
13. MENDES, B. H. A. **Estudo da influência da incorporação de resíduo de beneficiamento de caulim nas propriedades de compósitos de matriz polimérica reforçada com fibra de bambu**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Química. Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
14. ASTM D 3039 - 2008**"Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials"**, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
15. TAVARES, A. R. D. **Caracterização mecânica e morfológica de compósitos com fibras de vidro e palha da costa**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais), Faculdade de Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

16. CALLISTER, W. **Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução**. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

17. MADSEN, B; LILHOLT, H.; **Physical and mechanical properties of unidirectional plant fibre composites – an evaluation of the influence of porosity**. Composites Science and Technology, v.63, p. 1265-1272, 2003.

18. MADSEN, B; THYGESES, A.; LILHOLT, H.; **Plant fibre composite – porosity and volumetric interaction**; Composites Science and Technology, v. 67, p. 1584-1600, 2007.

19. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução n°. 498**- "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos automotores nacionais e importados."**, 29 de julho de 2014.

20. COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais.**Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Naturais. Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

21. EL BANNA, W. R. **Influência do resíduo de flotação de minério de cobre nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de matriz termofixa e fibras de bananeira (musa sapientum, musacae)**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Pará, Belém, 2017. 150 f.