

Universidade Estadual Paulista – UNESP

“Júlio de Mesquita Filho”

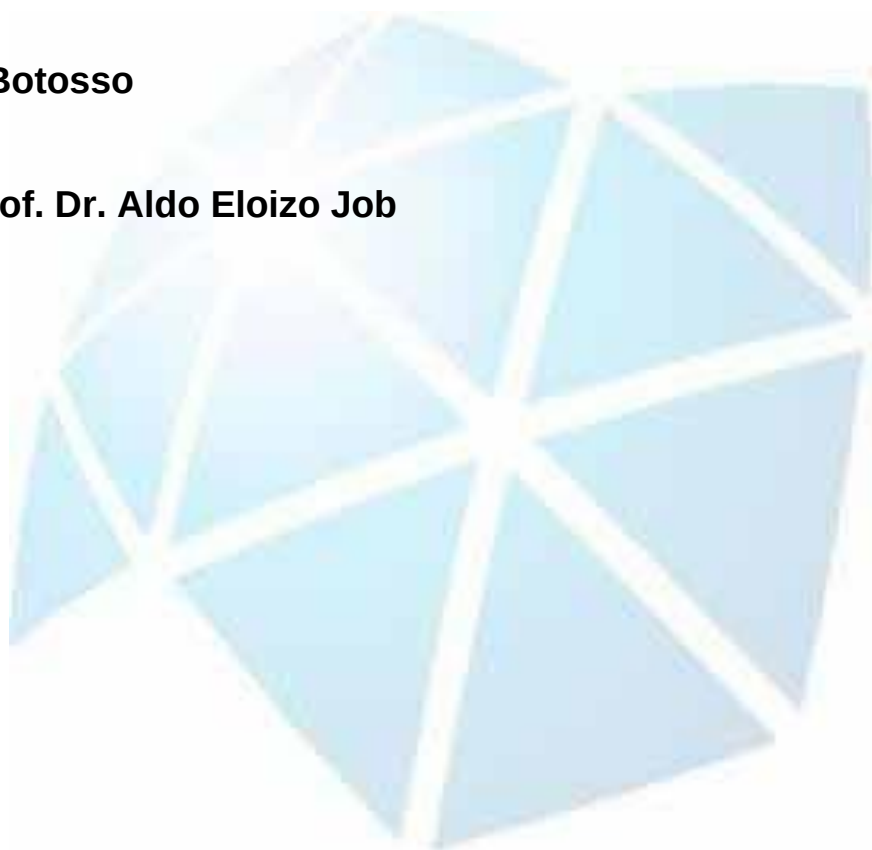
Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente

Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais – POSMAT

**“REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO
VERMELHO EM COMPÓSITOS DE BORRACHA NATURAL”**

Lucas Neves Botosso

Orientador: Prof. Dr. Aldo Eloizo Job



Presidente Prudente

2020

Lucas Neves Botosso

**“REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO
VERMELHO EM COMPÓSITOS DE BORRACHA NATURAL”**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos, Híbridos e Nano-Estruturados, sob a orientação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job.

Presidente Prudente

2020

B749	Botosso, Lucas Neves REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE TIJOLO CERÂMICO VERMELHO EM COMPÓSITOS DE BORRACHA NATURAL / Lucas Neves Botosso. -- Bauru, 2020 50 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Bauru 1. Engenharia Civil. 2. Compósitos Poliméricos. 3. Gerenciamento
------	---

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUCAS NEVES BOTOSSO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 29 dias do mês de abril do ano de 2020, às 14:00 horas, no(a) FCT/PRESIDENTE PRUDENTE, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB - Orientador(a) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Presidente Prudente, Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS do(a) Toledo / Toledo Centro Universitário, Prof.ª Dr.ª ANA MARIA PIRES do(a) Departamento de Química e Bioquímica / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Presidente Prudente, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUCAS NEVES BOTOSSO, intitulada **Reaproveitamento do Resíduo de Tijolo Cerâmico Vermelho em Compósitos de Borracha Natural**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB

Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS

Prof.ª Dr.ª ANA MARIA PIRES

[Handwritten signatures of Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB, Prof. Dr. ELTON APARECIDO PRADO DOS REIS, and Prof.ª Dr.ª ANA MARIA PIRES]

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	-Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição
ABRELPE	-Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
BN	-Borracha natural
CO ₂	-Gás Carbônico
CONAMA	-Conselho Nacional do Meio Ambiente
INAC	-Instituto Nova Ágora da Cidadania
MBTS	- <i>Dissulfeto de Dibenotiazol.</i>
MEV	-Microscopia Eletrônica de Varredura
M _L	-Torque Mínimo
PHR	- <i>Per hundred rubber</i>
PIB	-Produto Interno Bruto
PNRS	-Política Nacional dos Resíduos sólidos
RCV	-Resíduo de Cerâmica vermelha
S	-Enxofre
T ₉₀	-Tempo ótimo de vulcanização
TMTM	- <i>Monossulfeto de Tetrametiltiuram</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais setores consumidores para polímeros com ciclo longo de vida (acima de 5 anos) - 52% [27].....	13
Figura 2- Estrutura molecular do poli(cis-1,4-isopreno) [37]	15
Figura 3- Ranking das Maiores Cidades Produtoras de Resíduos Sólidos [53].....	17
Figura 4- Consumo por Região de Cerâmica Vermelha [57]	19
Figura 5- Processo de trituração do resíduo de tijolo cerâmico	21
Figura 6- Compósitos de BN e BN/RCV	23
Figura 7 – Compósito expansivo de BN/20RCV.....	24
Figura 8- Tempo ótimo de vulcanização para as diferentes composições.....	30
Figura 9- Densidade de ligações cruzadas dos compósitos em diferentes proporções.....	31
Figura 10- Dureza e desvio padrão da BN e compósitos.	32
Figura 11- Perda por Abrasão e desvio padrão da BN e compósitos.	34
Figura 12- Imagens de MEV da BN (a) 100X, (b) 1.0 KX	36
Figura 13- Imagens de MEV doRCV (a) 500X (b) 4.0 KX.....	36
Figura 14- Imagens de MEV do compósitos BN/RCV 10phr (a) 100X, (b) 1.0 KX ; BN/RCV 20phr (c) 100X, (d) 1.0 KX; BN/RCV 30phr (e) 100X, (f) 1.0 KX; BN/RCV 40 phr (g) 100X, (h) 1.0 KX	37
Figura 15- Análise EDX do resíduo de cerâmica vermelha	38
Figura 16- Análise EDX do resíduo de cerâmica vermelha	38
Figura 17- Análise EDX do resíduo de cerâmica vermelha	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição Química da Argila[55].....	17
Tabela 2- Componentes para o Processo de Vulcanização.....	22
Tabela 3- Componentes para o Processo de Vulcanização compósito expansivo ...	24
Tabela 4- Resultados de Torque e Tempo Ótimo de Vulcanização	29
Tabela 5- Valores de tensão e deformação de ruptura da borracha natural e dos compósitos com RCV em diferentes proporções de resíduo.....	33
Tabela 6- Composição química do RCV por análise de Fluorescência de Raios X..	35

Resumo

O desenvolvimento do setor da construção civil vem causando grandes preocupações devido ao aumento na quantidade de resíduos gerados, visto que se prevê uma acelerada lotação nos aterros normalizados além de um crescimento no descarte incorreto destes resíduos. Neste contexto, propõe-se a reutilização de resíduos de tijolos cerâmicos descartados nos canteiros de obras (RCV) para produção de compósitos de borracha natural (BN) denominados BN/RCV. O resíduo foi triturado, peneirado em mesh 170 e incorporado à BN por meio do cilindro misturador aberto, nas proporções de 10, 20, 30 e 40 *phr* (*per hundredrubber*), comparando à borracha natural sem resíduo. Também foi desenvolvido um compósito expansivo de borracha com diferentes cargas de 20, 40 e 60 *phr* e um compósito sem carga para comparação de resultados. Para caracterização do compósito foram utilizadas técnicas de ensaio mecânico de tensão/deformação, resistência abrasão, resistência a compressão, densidade de ligações cruzadas, dureza e análises de caracterização estrutural e morfológica pelas técnicas de fluorescência de raio X e microscopia eletrônica de varredura. A utilização do resíduo diminuiu o tempo ótimo de vulcanização em até 42,9% para os compósitos com 40 *phr*, o que representa um ganho de energia para o processo industrial além de aumentar a resistência a tração quando incorporados até 20 *phr*, apresentando o potencial do RCV a ser utilizado nos compósitos poliméricos. No compósito expansivo o compósito com 20 *phr* apresentou melhor resultado para compressão, com possível aplicação em divisórias de escritório do tipo baixo.

Palavras-chave: *Resíduo de construção e demolição; Borracha natural; Resíduo Cerâmico;*

Abstract

The development of the construction sector has been causing great concern stemming from the increase in the amount of waste generated, as an accelerated stocking in standard landfills is expected in addition to a growth in the incorrect disposal of this waste. In this context, it is proposed the reuse of ceramic brick residues discarded in construction sites (RCV) for the production of natural rubber composites (BN) called BN/RCV. The residue was crushed, sifted in mesh 170 and incorporated into bn by means of the open mixer cylinder, in the proportions of 10, 20, 30 and 40 phr(per hundredrubber), comparing to natural rubber without residue. An expansive rubber composite cum was also developed with different loads of 20.40 and 60 phr and a composite without load for results analysis. To characterize the composite, techniques of mechanical stress/strain testing, abrasion resistance, compressive strength, cross-link density, hardness and structural and morphological characterization analyses were used by x-ray flowering and scanning electron microscopy techniques. The use of the residue decreased the optimum vulcanization time by up to 42.9% for composites with 40 phr, which represents an energy gain for the industrial process in addition to increasing tensile strength when incorporated up to 20 phr, proving that RCV can be used as reinforcement load in natural rubber composites. In the expansive composite the composite with 20 phr presented better results for compression, being applied in low office partitions.

Keywords: *Construction residue and demolition. Natural rubber. Ceramic residue.*

Sumário

Introdução	100
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
1.1 –Composítos Poliméricos	122
1.2 - Borracha Natural	124
1.3 – Resíduo de Construção e Demolição Civil.....	155
1.4 –Cerâmica Vermelha	17
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	20
2.1 –Materiais	20
2.1.1 – Resíduo de Cerâmica Vermelha.....	20
2.1.2 – Borracha Natural.....	Erro! Indicador não definido.
2.1.2 –Agentes de Vulcanização	Erro! Indicador não definido.
2.2 - Método de Preparação do Compósito Polimérico	201
2.3 - Método de Preparação do Compósito Polimérico Expansivo	203
2.4 - Técnicas de Caracterização	255
2.4.1 - Comportamento Estrutural e Morfológico	255
2.4.1.1 - Fluorescência de Raios-X (FRX).....	255
2.4.1.2 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	255
2.4.2 - Comportamento Reológico	26
2.4.2.1 - Reometria.....	Erro! Indicador não definido.6
2.4.2.2 - Densidade de Ligações Cruzadas. Erro! Indicador não definido.6	
2.4.3 - Comportamento Mecânico	257
2.4.3.1 - Dureza Shore A.....	277
2.4.3.2 - Ensaio Mecânico tipo Tensão/Deformação.....	277
2.4.3.3 - Ensaio de Resistência à Abrasão.....	277
2.5 - Ensaio de Compressão da Borracha Expansiva.....	278
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
3.1 - Comportamento Reológico	29
3.1.1 - Reometria.....	29
3.1.2 - Densidade de Ligações Cruzadas.....	31
3.2 - Comportamento Mecânico.....	32
3.2.1 - Dureza Shore A.....	32
3.2.2 - Ensaio Mecânico tipo Tensão/Deformação	273
3.2.3 - Ensaio de Resistência à Abrasão	274
3.3 - Caracterização Estrutural e Morfológico.....	35

	9
3.3.1 - Fluorescência de Raios-X (FRX)	35
3.3.2 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	35
3.4 Resistência Mecânica á Compressão do Compósito Expansivo	39
CAPÍTULO 4 – POSSÍVEL APLICAÇÃO	41
Conclusão	42
Referências	4243

Introdução

O crescimento populacional e a expansão dos ambientes urbanos culminaram no aumento da demanda de materiais na construção civil. Novas técnicas construtivas e materiais de engenharia emergem como promessa de minimizar ou solucionar esta demanda, como painéis solares, placas acústicas e térmicas, blocos estruturais, blocos ecológicos, entre outros.

A expansão desse setor atingiu um crescimento de cerca de 74% nos últimos 20 anos. Paralelamente a este crescimento, observa-se um aumento na quantidade dos resíduos gerados, o que requer manejo e aterros próprios para admitir estes resíduos. Além disso, cresce o montante de resíduos sólidos de construção e demolição, descartados inadequadamente, o que implica problemas de cunho ambiental e, indiretamente, de saúde pública [1].

Segundo aponta o presidente do Instituto Nova Ágora de Cidadania (INAC), em relatório da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), cada brasileiro gera anualmente em média 500 kg de resíduos de construção civil (RCD). Estudos mais recentes, divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), afirmam que usinas de reciclagem chegam a coletar cerca de 45 milhões de toneladas de RCD anualmente [1,2].

Em escala mundial, destaca-se a geração de resíduos na Europa em 2014, registrando a produção de 868 milhões de toneladas de RCD. Não distante disso, dados divulgados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em 2017, apresentam geração de 569 milhões de resíduos, 90% resultantes do processo de demolição [3,4].

O descarte inadequado, e muitas vezes clandestino, tem contribuído para a incidência de doenças como a Febre amarela, dengue, Chikungunya, entre outras, causadas pela proliferação de insetos. Outros problemas ambientais, como a degradação de mananciais, poluição visual e obstrução dos sistemas de drenagem, também são atribuídos ao descarte inadequado [5].

Desta forma, faz-se necessário a implantação de políticas públicas e incentivo a pesquisas que sugiram um direcionamento sustentável [6].

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão responsável pelo regimento das políticas do meio ambiente, propõe através da Lei nº 12.305/2010, a

Política Nacional de Resíduos Sólidos. O Art. 2º, Inciso I, da resolução nº 307, classifica os resíduos resultantes da construção civil, como provenientes de construções, reformas, reparos e demolições. Além disso, se enquadram como resíduos, os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, comumente chamados de “entulhos” de obras, caliça ou metralha [7].

Normas técnicas como a ABNT NBR 15113/04 (Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes - Aterros – Diretrizes) têm sido desenvolvidas para auxiliar no cumprimento das políticas públicas de manejo de resíduos. A ABNT regulamenta as usinas fixas e móveis de reciclagem, as caçambas coletoras e as pesquisas que apontam formas de reutilização e descarte correto [2,8,9].

Pautado na política pública de reciclagem e reuso de resíduos, pesquisas têm sido desenvolvidas em âmbito mundial buscando meios de minimizar os impactos causados por esse problema a partir do reuso desses resíduos na forma de substituição de agregados naturais [12,10,11], subcamada para aterros [12,13], desenvolvimento de compósitos [14,15] e no gerenciamento sustentável [16,17,18].

Desta forma o presente trabalho visa desenvolver uma inovação para o uso do resíduo de tijolo cerâmico vermelho utilizando-o como carga em compósitos poliméricos, a fim de produzir placas termo acústicas que sejam aplicadas no próprio setor de construção civil.

CAPÍTULO 1– REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Compósitos Poliméricos

Os polímeros são materiais que apresentam boas aplicações quando se tratam de propriedades físicas e químicas, a, palavra polímero em sua etimologia pode ser traduzida como (*poly*) “muitas” (*merous*) “unidades de repetição”. A partir do agrupamento dos monômeros e das ligações das cadeias que se formam podem-se classificar os polímeros em plásticos, elastômeros e fibras.

Os polímeros normalmente em temperatura ambiente têm como estado físico ser sólido e a partir do aumento térmico tornam-se dúcteis. Dentre os diversos tipos de polímeros encontrados destacam-se os termoplásticos, que são aqueles conformados e moldados através do aquecimento, possibilitando serem remoldados e reciclados por diversas vezes, como exemplo temos os polipropilenos, polietilenos, poliestirenos e podem produzir materiais como cd's, copos plásticos, aparelho de barbear entre outros.

Os polímeros termofixos, são aqueles que passam por processo de cura onde possuem as cadeias poliméricas unidas por meio da reticulação desta forma se torna mais resistente ao aumento da temperatura e obtém-se uma melhor rigidez.

As fibras são formadas por macromoléculas finas e alongadas que apresentam boas características quanto à flexibilidade e finura.

Os elastômeros são materiais tecnológicos de poliuretano que tem como principal característica a alta flexibilidade e capacidade de retomar à sua forma original após receber forte pressão ou carga.

Baseando-se nas misturas e conformações de cargas e polímeros plásticos, fibras e principalmente os elastômeros deu-se origem aos compósitos poliméricos cujo setor vem sendo responsável pelo desenvolvimento de novos materiais e o aprimoramento de produtos, por exemplo, os pneus, materiais cirúrgicos, materiais de construção entre outros.

Nota-se que nos últimos anos, contrariando muitas vezes o período de crise, os compósitos poliméricos vêm aumentando sua produção e consequentemente alcançando maiores lucros, conforme dados da Associação Latino-Americano de Materiais Compósitos (ALMACO), em 2018 houve um crescimento de 3,8% do setor, com um faturamento de cerca de R\$ 2,7 bilhões de reais.

O destaque desses materiais está nas diferentes áreas que abrangem, sendo encontrados na agricultura, nas áreas médicas, automobilísticas, construção civil, dentre outras. Os compósitos ganham realce por apresentarem boas propriedades como resistências mecânicas, desempenho térmico, elasticidade, resistência à impacto.

Para que estas propriedades relevem a utilização dos compósitos poliméricos é vantajoso a inserção de cargas, podendo ser particulado [19,20], fibroso [21,22,26] e estrutural [23-26].

No que tange o setor da construção civil, nota-se o alto consumo de polímeros como matéria prima para produção de pisos, pavimentações, drenagem, revestimentos, materiais hidráulicos, materiais elétricos, concretos, etc. (Figura 1). Estima-se que 52 % dos polímeros utilizados no país possuem longo ciclo de vida útil, 25 % destes polímeros são utilizados na construção civil, comparado a 7,70 % da indústria de automóvel e peças, 5,78% produtos metal, 5,70% máquinas e equipamentos, 4,60% móveis, 2,20% eletrônicos e 0,64% de outros equipamentos [27].

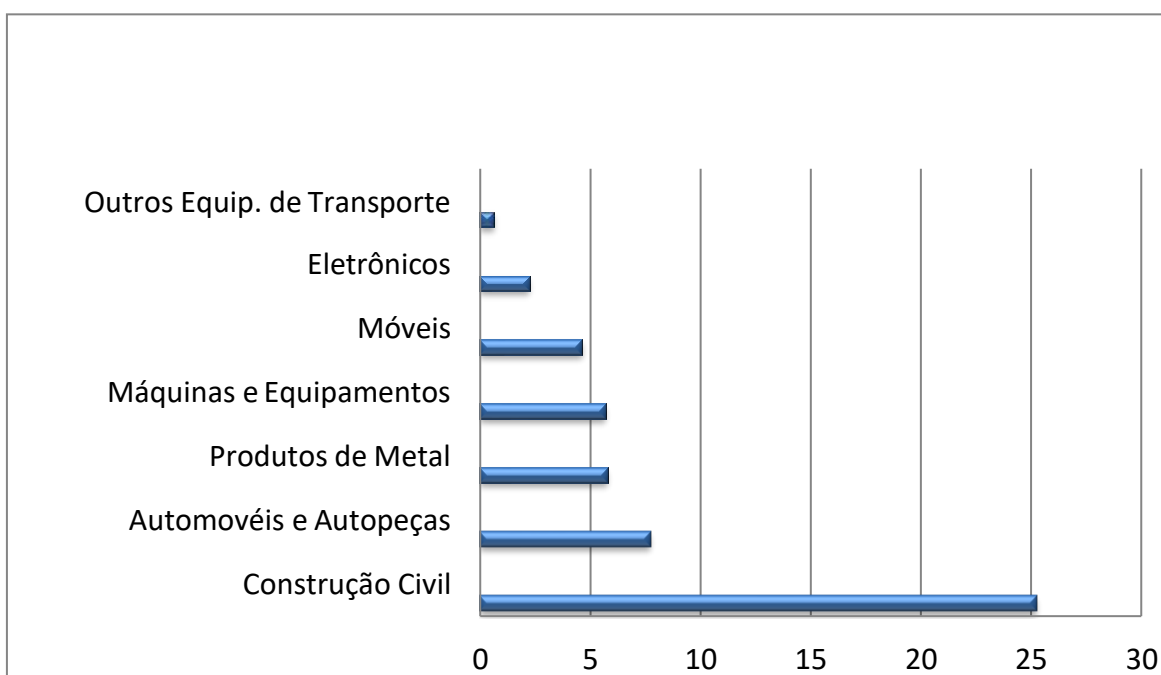


Figura 1-Principais setores consumidores para polímeros com ciclo longo de vida (acima de 5 anos) - 52% [27].

Outra vertente positiva deste setor seria a disposição dos compósitos poliméricos para a reciclagem, onde a maioria dos produtos podem continuar um ciclo de reutilização. Com a reciclagem de cerca de 550 toneladas por ano destes materiais estima-se a redução de cerca de 1,53 toneladas da emissão do gás estufa na atmosfera, a economia de cerca de 450 L de água e 75% de energia na produção [27].

Deste modo, pesquisas na área de compósitos têm avaliado diferentes interações de carga, seja materiais orgânicos [28,29], ou inorgânicos [30], em sua grande maioria a fim de aprimorar as propriedades dos compósitos, gerar um ganho ao meio ambiente e diminuir custos de produção.

1.2 Borracha Natural

Observando o contexto histórico podemos perceber que antes mesmo da chegada dos colonizadores europeus ao Brasil a borracha natural já era conhecida pelos Índios que aqui habitavam.

Eles a utilizavam como um tipo de goma ou resina no formato de bola para práticas esportivas [31]. A partir da descoberta e exploração das propriedades elastoméricas da BN deu-se o início a utilização em pesquisas e desenvolvimento de novos materiais.

O histórico da produção de borracha natural mostra que o Brasil por diversos anos foi o principal produtor de látex em escala mundial. Contudo, atualmente detém apenas 1,5% da produção, obrigando-o a importar cerca de 60% da borracha natural consumida para suprir a demanda nacional.

Por outro lado, a partir da ascensão do mercado asiático, nota-se um crescimento na produção de borracha em escala mundial. A maior produção está localizada nas regiões do sudeste da Ásia, destacando a Tailândia e a Indonésia, que produz cerca de 90% de toda borracha mundial. [32, 33]

Para obtenção do material sólido de borracha natural comercial é necessário a extração, coagulação e secagem do látex. O tipo de seringueira *Hevea Brasiliensis* é a principal fonte de borracha natural no mundo, sua composição basicamente se dá pelo monômero cis-1,4-isopreno que faz com que as unidades da molécula se organizem em uma combinação cabeça-calda conforme a estrutura apresentada na Figura 2 [34,35]

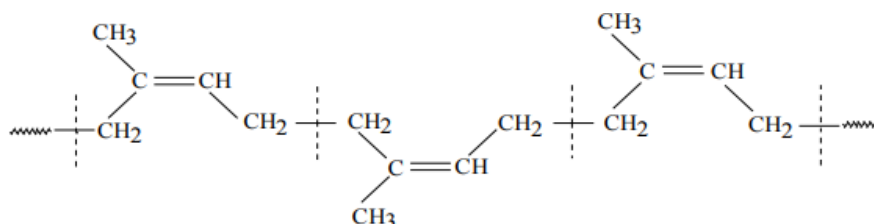


Figura 2-Estrutura molecular do poli (cis-1,4-isopreno) [36]

Entre as principais propriedades da borracha, pode-se ressaltar a elasticidade, as propriedades de eletricidade, a elevada resiliência, a resistência à fadiga, a impermeabilidade para líquidos e gases, entre outras que tornam da borracha natural a matéria prima para mais de 50.000 produtos nas mais diversas aplicações, destacando seu uso na área automobilística, da saúde e construção civil.

Para obtenção dos produtos comerciais são utilizados diversos processos de produção, sendo um desses a vulcanização da borracha natural, que consiste processo de adição de enxofre à borracha crua, formando pontes de enxofre entre as cadeias do polímero que melhoram suas propriedades. Acontece a partir da conformação da borracha com o agente reticulante, os ativadores, os aceleradores, plastificantes, antioxidantes, cargas de reforço ou cargas de enchimento e submetido a uma determinada temperatura e pressão.

Ainda no âmbito da engenharia civil os grupos de pesquisas que visam o ramo da construção têm direcionado seus estudos a incorporação de resíduos de compósitos poliméricos principalmente ao concreto e argamassa [37,38], além de estudos utilizando resíduos de construção na vulcanização da BN [39,40].

1.3 Resíduos da Construção e Demolição Civil

No cenário apresentado pelo setor da construção civil o tema resíduo sempre se mostrou como uma problemática a ser gerenciada por seus responsáveis, uma vez que sua geração cresce ao mesmo passo que o desenvolvimento do setor.

Essa crescente é demonstrada no Brasil através de relatórios que apresentam dados de que a coleta de resíduos no país atingiu cerca de 45 milhões de toneladas em 2017. Considerando que as atividades de reciclagem no país ainda estão no

início, espera-se números superiores para os próximos anos, visto que cada brasileiro gera em média 500 kg de resíduo de construção por ano [41].

Em um âmbito mundial nota-se que as estatísticas são ainda maiores, pois calcula-se que cerca de 900 milhões de toneladas de resíduo de construção e demolição (RCD) são gerados todos os anos, apenas considerando o Japão, Europa e os Estados Unidos. Estima-se que com o passar dos anos, devido esse crescimento, os aterros onde são dispostos esses resíduos não serão mais capazes de acondicionar todo o volume de resíduo gerado [42-45].

Atualmente cerca de 80% dos municípios brasileiros destinam de forma incorreta os RCD, que poderiam ser destinados corretamente em aterros sanitários próprios, unidades de incineração/valorização e tratamento de resíduos. Contudo os depósitos clandestinos, mesmo que ilegalmente, ainda são realidade no país, o que acarreta maiores danos ao meio ambiente, como degradação, erosão e até mesmo a contaminação das águas, além de serem grandes geradores de insetos [42].

Sabe-se que o setor da indústria da construção civil mundial sofreu desaceleração com a crise em 2010. Apenas nos últimos anos o setor vem se recuperando e somando novos ganhos que influenciam diretamente o Produto Interno Bruto (PIB) do país. No Brasil por exemplo, a construção civil representa atualmente cerca 4,5% do PIB nacional, já em anos anteriores chegou a representar 10,5% [46].

Na última década, a construção apresentou um crescimento de 52,10% [47], significando um aumento das áreas construídas, maior oferta de emprego e consequentemente maiores concentrações de resíduos, que, segundo estimativas da Transparency Market Research, o volume global de detritos de construção em 2025 será de cerca de 2,2 bilhões de toneladas [48].

De acordo com um estudo realizado pelo Banco Mundial que classifica as cidades que mais produzem resíduos, demonstrados da Figura 3, duas cidades brasileiras aparecem como destaque, a cidade de São Paulo, que mais gera resíduos sólidos, sendo destes cerca de 55% resultante da construção civil e a cidade do Rio de Janeiro como a 8ª cidade [49-51].

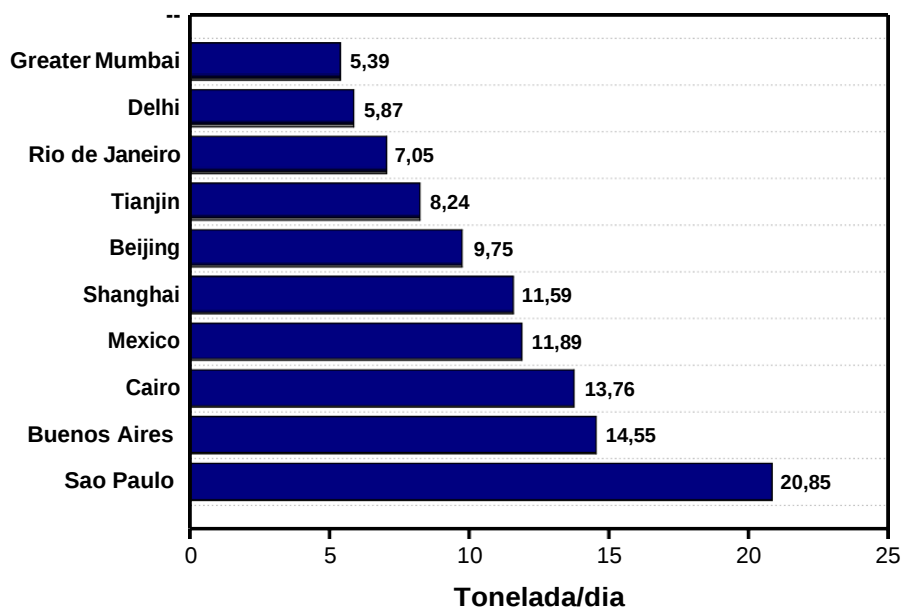


Figura 3-Ranking das Maiores Cidades Produtoras de Resíduos Sólidos [52].

1.4 Cerâmica vermelha

O material artificial obtido através dos processos de moldagem, secagem e cozimento da argila é denominado cerâmica. A produção consiste na ação do calor de cozimento que incide nos minerais argilosos, faz com que o material se aglomere através de fragmentos vítreos, devido a composição apresentada na Tabela 1 [53].

Tabela 1- Composição Química da Argila [54].

Fluorescência de RaiosX	
Composição	Massa (%)
SiO ₂	41.90
AlO ₂	32.52
FeO ₂	9.29
CaO ₂	0.18
TiO ₂	1.20
KO ₂	1.55
MgO ₂	0.87
NaO ₂	0.39

Os produtos de cerâmica vermelha começam a surgir a partir da utilização do barro endurecido por homens no período pré-neolítico, cerca de 25.000 anos a.C

para a produção de jarros de barro. Na construção civil esse material começou a ser explorado quando o homem passa a utilizá-lo como vedações das cavernas e ocas e, conseqüentemente surge a produção de materiais como blocos cerâmicos e telhas de barro [54].

A queima da argila é datada 2.000 anos após a criação dos blocos e telhas, e os materiais resultantes eram utilizados em sua maioria para revestimentos externos.

O desenvolvimento tecnológico dos processos de confecção acontece a partir da revolução industrial quando admitem uma padronização das formas e novos modelos de fornos no formato de túnel e posteriormente, no século XIX, a introdução das máquinas proporcionou melhores resultados e eficiência.

No Brasil o setor da indústria voltada para cerâmica vermelha começa a surgir a partir de 1549, onde iniciou-se os estímulos para a produção de materiais derivados de cerâmicas.

No entanto somente no ano de 1575, a indústria de cerâmica vermelha se concretiza com a formação de uma vila, onde atualmente esta localizada cidade de São Paulo, sendo então fundada a primeira grande fábrica no ano de 1893. A indústria chamada Estabelecimentos Sacoman Frères, deu origem as telhas popularmente denominadas “francesas ou marselesas”, conhecidas assim até os dias atuais [55].

Conforme a utilização de diferentes técnicas para cada tipo de material, houve uma divisão por setores, onde começa a surgir olarias, fábricas de telhas e casas de artesãos, o que tornou esse campo um dos principais fornecedores de materiais para edificações, coberturas e saneamentos em todas as partes do Brasil.

Este ramo representa cerca de 4,8% da produção industrial da Construção Civil, já que a utilização de peças provenientes da cerâmica diminui consideravelmente os valores de produção. A cada m² de telha cerâmica produzida, utiliza-se cerca de 70% menos águas comparada à produção de telhas de concreto, sendo também responsável por diminuir a emissão de CO₂ no ambiente [56,57].

Atualmente a indústria de cerâmica vermelha brasileira é composta por cerca 7000 empresas, que geram faturamento aproximado de R\$ 18 bilhões/ano contando com uma produtividade média do segmento oleiro-cerâmico brasileira da ordem de aproximadamente 15 mil peças/operário/mês e gerando mais de 400 mil vagas de

trabalho diretamente ligadas a produção de peças cerâmicas, e mais de um milhão de vagas indiretamente, sendo a região sudeste a principal produtora deste setor.

A distribuição das bacias sedimentares portadoras de argilas para cerâmica, e a demanda dos produtos evidenciam ainda mais a região sudeste que é responsável pela utilização de cerca de 42% da produção total, seguido pela região sul 24% e nordeste 22%, demonstrado na Figura 4 [54,57,58].

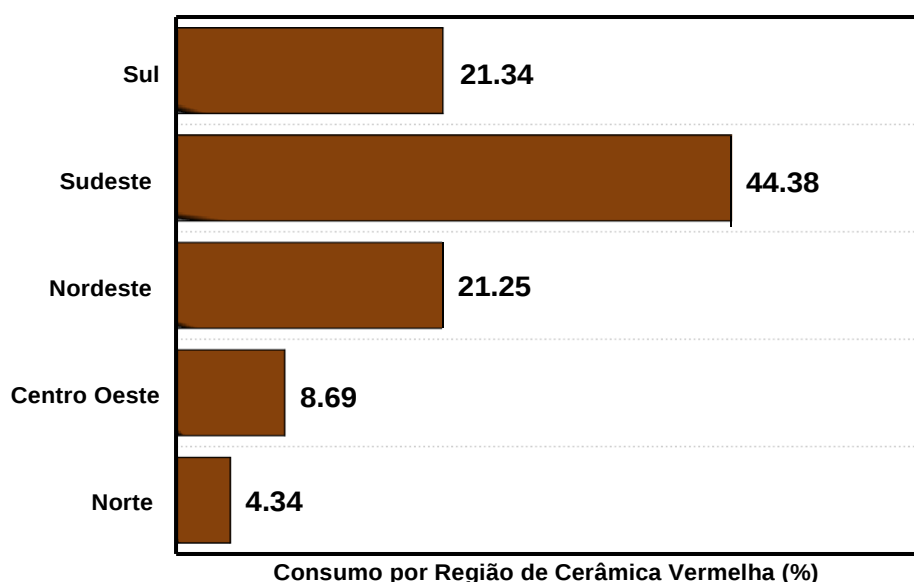


Figura 4- Consumo por Região de Cerâmica Vermelha [57].

Com a exportação, o setor de cerâmica vermelha tem obrigado as empresas a desenvolverem produtos que inovem o mercado da construção civil e que prezem por logísticas que minimizem os efeitos ambientais e os resíduos gerados, para conseguir competir no mercado de trabalho.

CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais, os métodos de preparação utilizados na obtenção dos compósitos e as técnicas de caracterização.

2.1 Materiais

2.1.1. Resíduo de Cerâmica Vermelha

O resíduo de cerâmica vermelha foi obtido pela coleta de tijolos do tipo cerâmico provindos de caçambas e/ou depositados nos canteiros de obra. Os materiais foram pré-selecionados descartando outros resíduos como concreto, argamassa ou qualquer outro material aglomerado nas peças, posteriormente triturado e peneirado em peneira mesh 170.

2.1.2. Borracha Natural

Para a produção dos compósitos foi utilizada a borracha natural do tipo Crepe Claro Brasileiro, fornecido pela empresa DLP Indústria e Comércio de borrachas e artefatos LTDA-ME, localizada em Poloni-SP. Esse tipo de borracha foi escolhida admitir a inserção de novas cargas, além de apresentar boas propriedades de resistência mecânica, físicas e químicas.

2.1.3. Agentes de Vulcanização

No processo de vocalização foram utilizados os ativadores, aceleradores, plastificantes e o agente de vulcanização, fornecidos pela empresa SWEETMIX, Localizada no município de Sorocaba-SP, sendo os ativadores de vulcanização: óxido de zinco e ácido esteárico e os aceleradores: TMTM e MBTS, além de enxofre e óleo parafênico.

Também fazem parte do processo de vulcanização o misturador cilíndrico aberto da marca MAKINTEC utilizado para conformação dos produtos, e a prensa hidráulica com sistema de aquecimento automatizado da marca MASTERMAC onde finaliza-se o processo de vulcanização.

2.2 Método de Preparação do Compósito Polimérico

O resíduo de tijolo de cerâmica vermelha coletado foi inicialmente triturado por triturador reciclador de entulho da marca REHAU no Laboratório de Tecnologias da Construção (LTC) da UNESP de Presidente Prudente- SP e posteriormente peneirado em mesh 170 (com abertura de trama de 0,088 mm) e assim obtido a granulometria desejada para o composto, de acordo com a Figura 5.



Figura 5- Processo de trituração do resíduo de tijolo cerâmico.

Para o processo de ativação foram tomadas as massas indicadas na Tabela 2 e incorporados à BN, primeiramente o ácido esteárico e em seguida o óxido de zinco por meio do uso do cilindro misturador aberto (com capacidade de prensagem dos rolos de 9t) conforme a norma ASTM D 3182 [59].

Posteriormente as massas obtidas nesse primeiro processo são mantidas a temperatura ambiente durante 24h a fim de que ocorra por completo a reação entre o ácido esteárico e o óxido de zinco.

Dando sequência ao processo as amostras são levadas para o cilindro novamente onde são acrescentados o monossulfeto de tetrametil (TMTM), o

dissulfeto de dibenzotiazol (MBTS) o enxofre (S), o óleo parafínico e o resíduo peneirado, nas proporções de 10, 20, 30 e 40 PHR e uma massa sem adição de resíduos para comparação de resultados.

Tabela 2- Componentes para o Processo de Vulcanização.

Componentes	Quantidade (phr^a)
Formulação Base	
Borracha Natural	100
Sistema de Vulcanização	
Ativadores	
Óxido de Zinco	5
Ácido Esteárico	2
Plastificante	
Óleo Parafínico	3.5
Aceleradores	
MBTS ^b	0.17
TMTM ^c	0.46
Agente Reticulante	
Enxofre	1.0
Proporção BN/RCV	0-40 phr

^a phr: *parts per hundred of rubber*. ^b MBTS: *dissulfeto de dibenzotiazol*. ^c TMTM: *monossulfeto de tetrametiltiuram*.

Para prensagem das placas foi necessário antes conhecer as condições de vulcanização, utilizando a análise reométrica realizada em um reômetro da marca TEAMETRO, da empresa Team Equipamentos que determinou o tempo ótimo de vulcanização T90.

Assim conhecendo o T₉₀ de cada amostra foi possível obter os compósitos por meio de uma prensa hidráulica modelo vulcan-400/20 aquecida a temperatura de 150°C demonstrado na Figura 6.

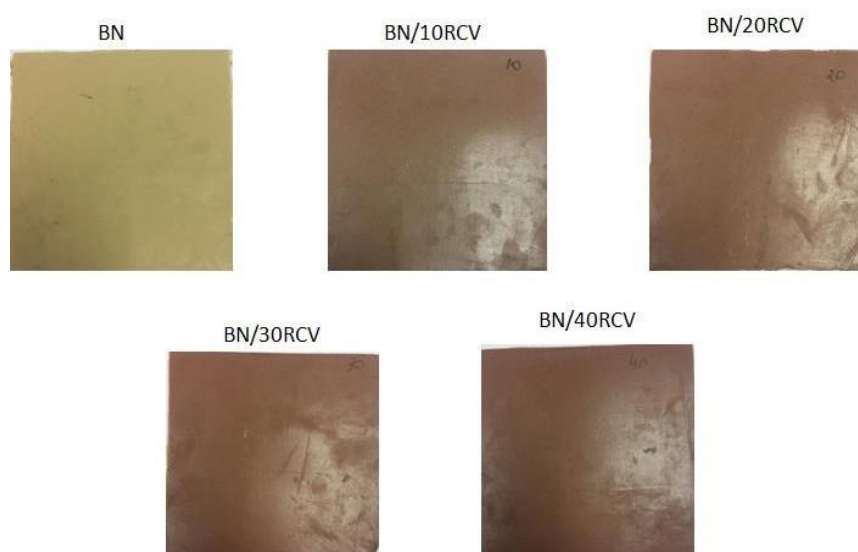


Figura 6- Compósitos de BN e BN/RCV.

Os compósitos demonstrados na Figura 6 apresentam dimensões 15x15cm e são resultantes do processo de vulcanização, nota-se que a coloração vai ficando mais escura com a adição das cargas.

2.3 Métodos de Preparação do Compósito Polimérico Expansivo

O compósito polimérico expansivo foi desenvolvido para analisar a possível aplicação do compósito quanto a placas divisórias de ambientes. A preparação foi realizada acrescentando na formulação base o agente expensor e utilizando a mesma metodologia do item 2.2, exceto a utilização do reometro, neste caso o tempo ótimo de vulcanização fica destinado a testes de vulcanização preliminares realizados na prensa hidráulica.

O tempo ótimo de vulcanização foi averiguado a partir da prensagem de três amostras de cinco gramas da “massa” do compósito e a partir da média obtem-se o tempo.

Os compósitos resultantes desse processo estão representados na Figura 7 pelo compósito com 20 Phr. Pode-se notar a ação do agente expensor na porosidade, alterando a dimensão da amostra.

Tabela 3- Componentes para o Processo de Vulcanização compósito expansivo.

Componentes	Quantidade (phr)
Formulação Base	
Borracha Natural	100
Sistema de Vulcanização	
Ativadores	
Óxido de Zinco	5
Ácido Esteárico	2
Agente expensor	
Vulcanox	10
Plastificante	
Óleo Parafínico	3.5
Aceleradores	
MBTS	0.17
TMTM	0.46
Agente Reticulante	
Enxofre	1.0
Proporção BN/RCV	0-20-40-60 phr

**Figura 7** – Compósito expansivo de BN/20RCV.

2.4 Técnicas de Caracterização

Para dar um direcionamento tecnológico para o compósito é necessário conhecer suas propriedades, para isto, foram realizados ensaios físico-mecânicos, estruturais e morfológicos. As análises foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Física, Química e Biologia da FCT/UNESP, em Presidente Prudente.

2.4.1 Comportamento Estrutural e Morfológico

2.4.1.1 Fluorescência de Raios-X (FRX)

A análise de fluorescência de Raio-X consiste em provocar a ionização das camadas mais intrínsecas dos átomos por meio de um feixe de raio-x. Foi realizada pelo laboratório Dairix Equipamentos Analíticos Ltda, em São Paulo e analisou por meio de um aparelho de fluorescência portátil XL5, calibrado com minérios e minerais, a amostra de resíduo de tijolo peneirado em mesh 170, a fim de obter a porcentagem em massa dos elementos presentes.

2.4.1.2 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura é utilizado para o estudo aprofundado das estruturas do material. As análises foram realizadas observando a superfície e a seção transversal das amostras um equipamento da marca Carls Zeiss, modelo LS15. A técnica de MEV consiste em realizar fraturas criogênicas nas amostras e recobri-las com ouro por meio da técnica de sputtering, em um equipamento Quorum – Modelo Q150TE, e foi utilizada para analisar a interação e a homogeneidade entre a borracha natural e o resíduo da cerâmica vermelha.

A técnica de energia dispersiva de raios X (EDX), foi realizada em conjunto ao MEV a qual se aplica em pontos específicos e resulta-se na associação da morfologia com a composição do material.

2.4.2 - Comportamento Reológico

2.4.2.1– Reometria

A análise reométrica foi realizada por meio de um reômetro da marca Teametro, seguindo a norma ASTM D 2084 [60], onde através das variantes torque/tempo é possível determinar o tempo necessário para realização de 90% da vulcanização (T_{90}), e a variação do torque de cada amostra. Os parâmetros para o ensaio foram o arco de 1º e a temperatura a 150°C [61].

2.4.2.2 - Densidade de Ligações Cruzadas

Para a realização do ensaio de densidade de ligações cruzadas foi utilizando a teoria de flory- rehner, que determina o tamanho médio de cadeia entre os pontos de entrecruzamento através da técnica de inchamento em solventes.

Para este ensaio três amostras de cada compósito foram submersas durante cinco dias no toluou, com as massas variando entre 0,20g e 0,30g, após esse período as amostras são retiradas pesadas e dispostas na estufa durante 24 horas e seguidamente pesadas. Os dados obtidos são utilizados para determinação das densidades ligações cruzando por meio da equação

$$v = \frac{-[\ln(1 - v_r) + v_r + \chi v_r^2]}{\rho \cdot v_{sv} \left(v_r - \frac{1}{2} \right)}$$

Onde v - densidade de ligações cruzadas (mol/cm³).

v_r - razão do volume da amostra seca pelo volume da amostra inchada.

χ - Parâmetro de interação do polímero/solvente, para solventes apolares é utilizado valor igual a 0,34.

ρ - densidade do polímero.

v_{sv} - volume molar do solvente puro.

2.4.3 Comportamento Mecânico

2.4.3.1 Dureza Shore A

A realização do ensaio de dureza Shore A deu-se por meio de um durômetro Shore A da marca KILTLER seguindo as normas regulamentadas pela ASTM 2240 [62]. Esta técnica consiste em penetrar a superfície da amostra com uma esfera rígida a fim de verificar a resistência que o material lhe fornece.

2.4.3.2 Ensaio Mecânico tipo Tensão/Deformação

O ensaio de tensão/deformação foi realizado para analisar as propriedades mecânicas do material, as análises das amostras foram feitas em triplicatas para garantir melhores condições de avaliação, utilizando um equipamento da marca Team Equipamentos, por meio da medida da tensão de alongamento até a ruptura segundo a norma ASTM D 412 06 [63].

2.4.3.3 Ensaio de Resistência à Abrasão

Através do teste de abrasão pode-se determinar a resistência dos materiais em relação ao desgaste, propriedade de suma importância para a aplicação e utilização em produção de artefatos industriais. O equipamento utilizado foi um abrasímetro da marca MAQTEST com frequência de 40 ciclos por minuto e uma distância de abrasão de 40m. Esta técnica será realizada de acordo com a norma ASTM D 5963 [64] e os cálculos serão realizados utilizando a equação abaixo:

$$PA = \frac{\Delta m \times S_0}{d \times S}$$

Onde:

PA= Perda por abrasão em mm³;

Δm = Perda de massa em mg;

d= Densidade da amostra em mg/mm³;

S₀= Índice de Ataque teórico da lixa na borracha padrão (200±20 mg)

S=Índice de Ataque real da lixa na borracha padrão em mg

2.5 Ensaio de Compressão de Borracha expansiva.

O ensaio de compressão no compósito de borracha expansiva se deu em parceria científica com a Universidad de Valladolid na Espanha, onde foram ensaiadas as amostras expansivas de BN, BN com 20 phr de carga, BN com 40 phr de carga e BN com 60 phr de carga quanto à compressão.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Comportamento Reológico

Neste tópico serão discutidos a reticulação dos compósitos, como também a determinação da densidade de ligações cruzadas por análise de inchamento em solvente.

3.1.1 Reômetria

Para determinar os parâmetros reométricos de vulcanização, realizou-se a análise reométrica da BN e BN/RCV nas proporções de 10-40 phr. A Tabela 4 apresenta os valores quanto ao torque mínimo e máximo obtido e o tempo ótimo de vulcanização.

Tabela 4- Resultados de Torque e Tempo Ótimo de Vulcanização.

Compósitos	M _L	M _H	ΔM	t _{s2}	t ₉₀
	(dN.m)	(dN.m)	(dN.m)	(min)	(min)
NR	1	14,8	13,8	4,51	6,13
10 phr	1	13,1	12,1	3,25	4,50
20 phr	1,2	14,5	13,3	2,57	4,25
30 phr	1,2	15,1	13,9	2,34	4,01
40 phr	1,2	16,3	15,1	2,22	3,50

M_L -Torque Mínimo/ M_H- Torque Máximo/ ΔM – Variação do Torque/ t_{s2} – Scorth Time/ t₉₀ – Tempo Ótimo de Vulcanização.

Pode-se observar que o torque mínimo (M_L) apresenta um pequeno aumento a partir do compósito de 20 phr, já que a partir dessa amostra a carga de resíduo já se torna significativa indicando que a processabilidade dos compósitos se torna mais difícil o que pode estar associado a um aumento da viscosidade e rigidez do material, conforme estudos das propriedades do resíduo de RCD [65,66]. Outra vertente de discussão para o aumento do torque pode estar relacionado à aglomeração de partículas de carga na matriz polimérica [67].

O torque máximo observado para os compósitos com 10 e 20 phr apresentam uma redução, que pode se relacionar a dispersão do resíduo. O inverso acontece nas amostras com 30 e 40 phr, esse aumento do torque pode associar-se além da formação de um número maior de ligações cruzadas e uma maior rigidez na

superfície do compósito com maiores adições de carga. O scorth time(t_{s2}) e o tempo ótimo de vulcanização(t_{90}) apresentaram uma redução considerável destacado na Figura 8, se tornando interessante para relação custo x benefício, significando na produção industrial um gasto menor de energia e consequentemente menores custos.[68].

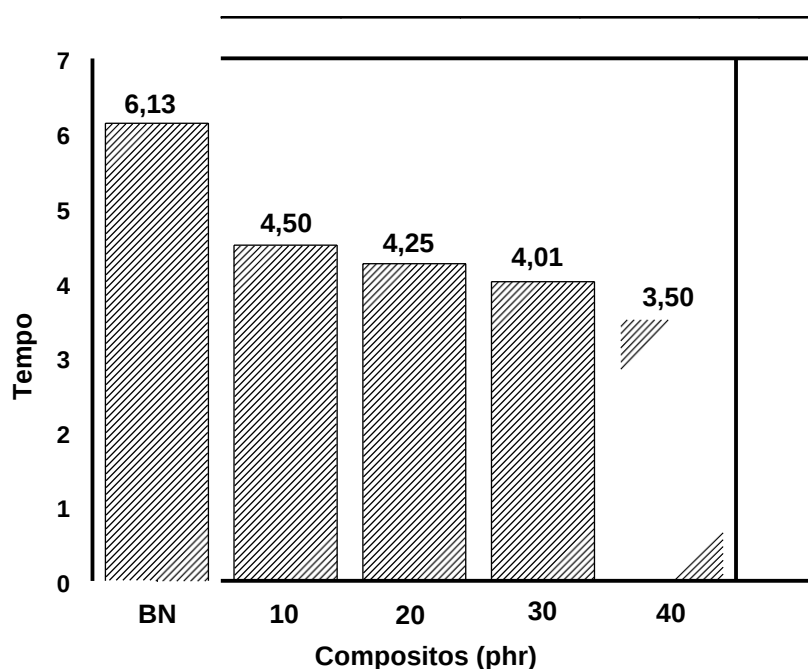


Figura 8- Tempo ótimo de vulcanização para as diferentes composições.

O tempo ótimo de vulcanização diminui através de uma maior concentração de resíduo de cerâmica vermelha, que pode estar atribuído ao fato da carga cerâmica adicionada ter intensificado a interação entre a matriz polimérica e os agentes de vulcanização, já que a condutividade térmica do tijolo cerâmico é maior que a da borracha, o que pode ter proporcionado uma melhor dissipação do calor, otimizando o processo de vulcanização.

Além disso, o pH dos resíduos podem estar associados a facilitação da interação entre a matriz polimérica, os agentes de reticulação e os aceleradores, destacando o resíduo com 40 phr que obteve um percentual de aproximadamente 43% de decréscimo em relação a borracha natural [68].

3.1.2 - Densidade de Ligações Cruzadas

A figura 9 mostra o comportamento da densidade de ligações cruzadas por inchamento realizadas nas amostras. Pode-se observar um aumento das medidas de densidade de ligações cruzadas ao acrescentar o resíduo.

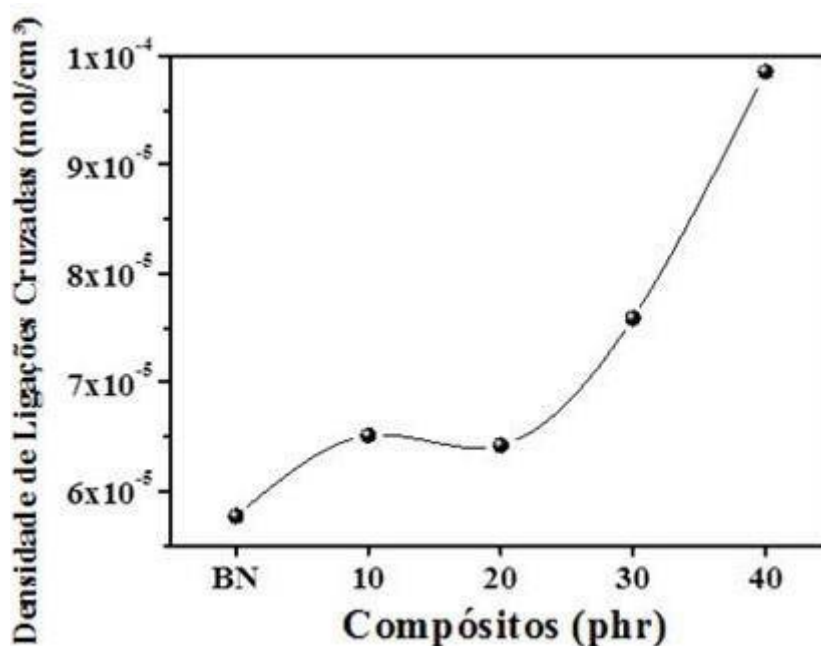


Figura 9- Densidade de ligações cruzadas dos compósitos em diferentes proporções.

A redução do inchaço das amostras com RCD em comparação à BN evidenciam a interação que ocorreu entre a matriz polimérica e o resíduo, destacado os compósitos com 30 e 40 phr que demonstraram aumentos expressivos.

Nota-se que o maior número de ligações cruzadas nos compósitos com 10 phr e 20 phr influenciou diretamente nas propriedades como resistência à tração e abrasão, o que não ocorreu para os compósitos de 30 e 40 phr, neste caso o ganho na densidade de ligações cruzadas pode estar associado apenas a restrição ao inchamento causado pelo resíduo e não por causa da formação de ligações cruzadas [69,70].

3.2 Comportamento Mecânico

Neste tópico serão discutidas as propriedades mecânicas do compósito, como dureza shore A, ensaio mecânico de tensão/deformação e ensaio de resistência a abrasão.

3.2.1 - Dureza Shore A

A adição de carga de enchimento ou reforço em compósitos de borracha natural é frequentemente conhecida na literatura por causar um aumento da propriedade de dureza, pois torna a superfície mais rígida [71,72]. A Figura 10 apresenta os resultados obtidos no ensaio de dureza shore A.

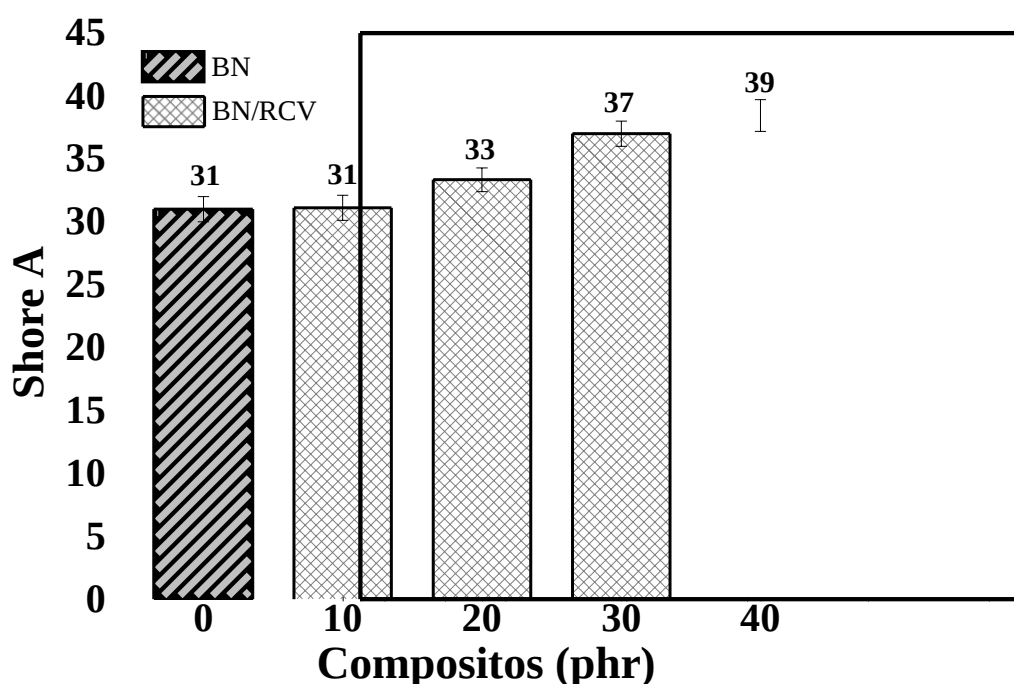


Figura 10-Dureza e desvio padrão da BN e compósitos.

Analisando a Figura 9, é possível constatar um comportamento semelhante entre a BN e o compósito com carga de 10 phr, já que neste caso a carga inserida é baixa e, portanto não influencia nesta propriedade.

Por outro lado um aumento na dureza é observado a partir da incorporação de 20 phr na borracha, causado ao acrescentar uma carga de natureza rígida ao

compósito, transferindo esta propriedade à BN e também podendo-se associar ao aumentando das ligações cruzadas [73,74].

3.2.2 Ensaio Mecânico tipo Tensão/Deformação

Os dados obtidos no ensaio de tração/deformação estão indicados na tabela 5.

Tabela 5- Valores de tensão e deformação de ruptura da borracha natural e dos compósitos com RCV em diferentes proporções de resíduo.

Compósitos	Tensão (MPa)	Deformação (%)
BN	10.39 ± 0.59	681.00 ± 37.00
10 phr	11.23 ± 0.80	687.50 ± 12.50
20phr	12.41 ± 0.07	712.50 ± 12.50
30phr	10.71 ± 0.05	732.50 ± 7.50
40 phr	9.85 ± 0.17	725.00 ± 0.00

De acordo com os resultados obtidos, é possível observar que os compósitos de 10 e 20 phr conseguiram melhorar a propriedade de tensão do compósito. Observa-se que a BN apresentou 10.39 MPa de tensão enquanto o compósito com 20 Phr aumentou a mesma em cerca de 20%, indicando uma melhor dispersão do material de enchimento na matriz polimérica [75].

Os compósitos de 30 e 40 phr apresentam valores de tensão semelhantes à borracha natural, o que pode estar associado a formação de agregados onde a força de interação partícula-partícula é maior que a força partícula-polímero, também pode-se relacionar ao aumento de ligações cruzadas apresentadas por esses compósitos, pois conforme demonstra os resultados há um aumento significativo para os mesmos compósitos, e a partir de maiores números de ligações cruzadas mais difícil de tensionar a amostra [76].

A deformação apresentou um aumento cada vez maior com a adição da carga, o que demonstra que o RCV aumentou a ductibilidade do material, permitindo uma maior deformação até a saturação no compósito de 30 phr.

3.2.3 Ensaios de Resistência à Abrasão

Os resultados do teste de abrasão destacados na Figura 11, mostram que em um contexto geral a adição da carga de resíduo cerâmico causou uma diminuição nos valores de resistência a abrasão, exceto para o composto com 10 Phr.

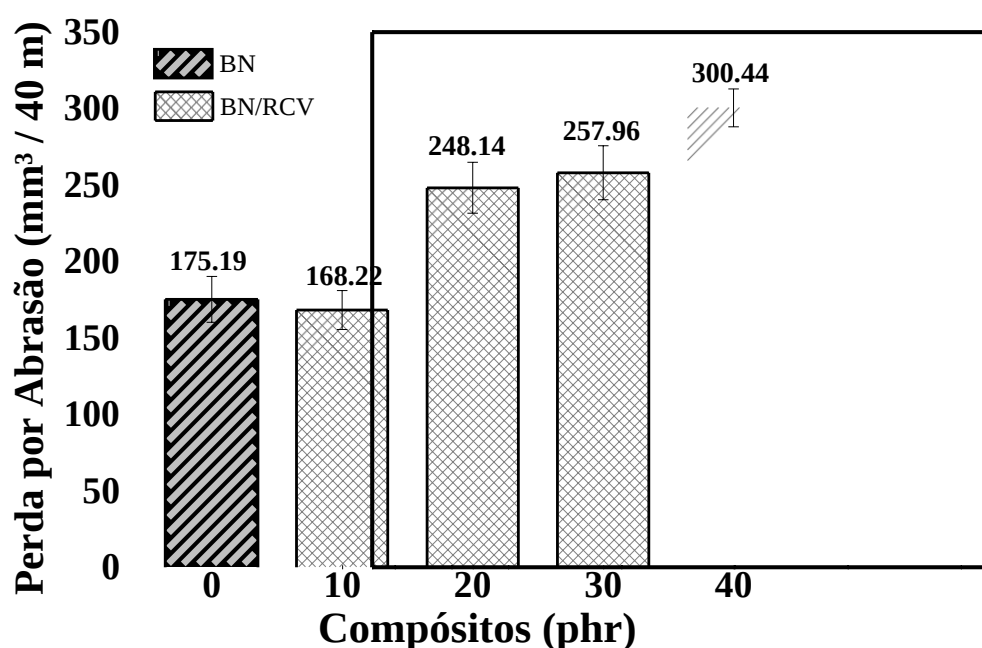


Figura 11- Perda por abrasão e desvio padrão da BN e compósitos.

A perda no ensaio de abrasão pode demonstrar que a inserção do resíduo causou um aumento das tensões na superfície do material, provocado pela geração de agregados, exceto ao composto de BN/CRV com 10 phr, que conseguiu se manter similar, apresentando uma melhora de cerca de 4% a BN, o que pode estar relacionado a uma melhora na dispersão, visto que o volume de carga inserido é menor [77].

O maior valor obtido nesse ensaio foi do composto com adição de 40 phr de resíduo, o que demonstra que a partir da adição de 20 phr de resíduo, a resistência a abrasão só tende a diminuir, o que pode estar vinculado a uma característica abrasiva presente no resíduo e que no processo de incorporação transfere para o composto essa característica, saturando rapidamente e diminuindo ainda mais conforme maiores concentrações.

3.3 Caracterização Estrutural e Morfológico

3.3.1 Fluorescência de Raios-X

A Tabela 6 apresenta a composição química do resíduo de tijolo cerâmico avaliada por análise de Fluorescência de Raio X.

Tabela 6- Composição química do RCV por análise de Fluorescência de Raios X.

Fluorescência de RaiosX	
Composição	Massa (%)
Si	55.90
Al	25.08
Fe	9.60
Ca	3.25
Ti	2.42
K	2.07
Outros	1.68

Observa-se que o resíduo tem predominância de Silício (55,9%), o que para o compósito se torna de suma importância, já que o Si é reconhecido por ser responsável pelo aumento de propriedades mecânicas em BN, o Alumínio (25,08) e Ferro (9,6%) provenientes das matérias primas na produção tijolos se tornam elementos auxiliares para dissipação do calor no processo de vulcanização, o que pode ter contribuído para os resultados obtidos na reometria. Os elementos cálcio, potássio e titânio em menor concentração são provenientes dos argilominerais.

3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A fim de compreender a morfologia do resíduo peneirado, da borracha e a interação entre eles foi realizado o ensaio de MEV da seção transversal do resíduo, conforme a Figura 12 e a Figura 13.

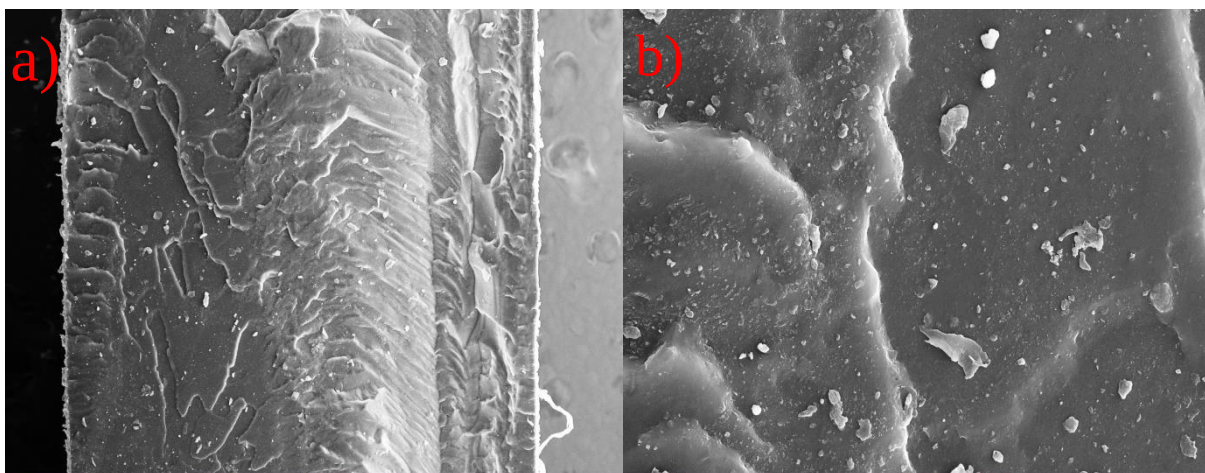


Figura 12-Imagens de MEV da BN (a) 100X, (b) 1.0 KX.

A Figura 12 demonstra as figuras da fratura transversal da BN, onde observa-se a estrutura da borracha natural (a, b). A BN apresenta uma superfície levemente rugosa, dispostas em camadas e com pequenos fragmentos provenientes dos agentes no processo de vulcanização.

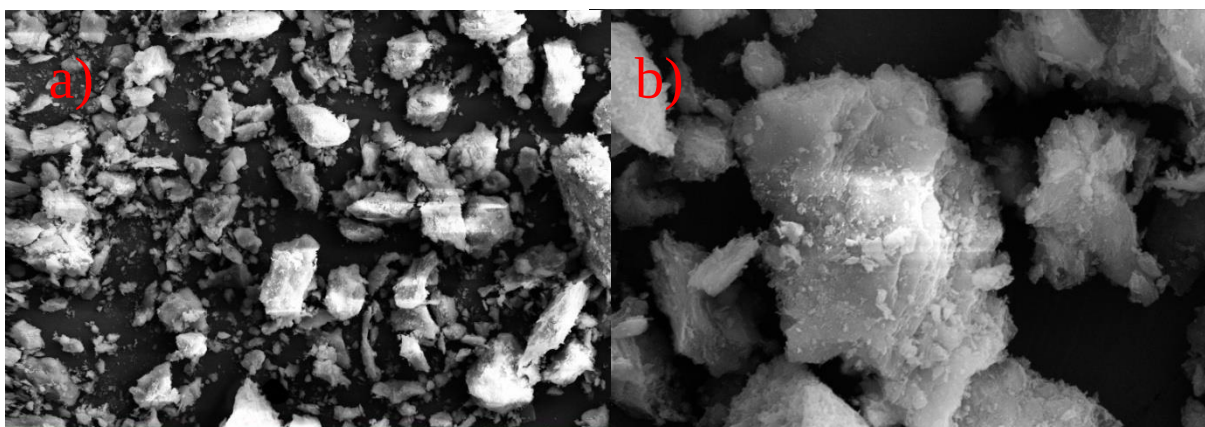


Figura 13- Imagens de MEV doRCV (a) 500X (b) 4.0 KX.

A Figura 13 demonstra as figuras do pó, onde nota-se uma estrutura porosa e irregularidade dos grãos, com superfície rugosa (a, b).

Os compósitos de BN com resíduos foram analisados e mostrados na Figura 14.

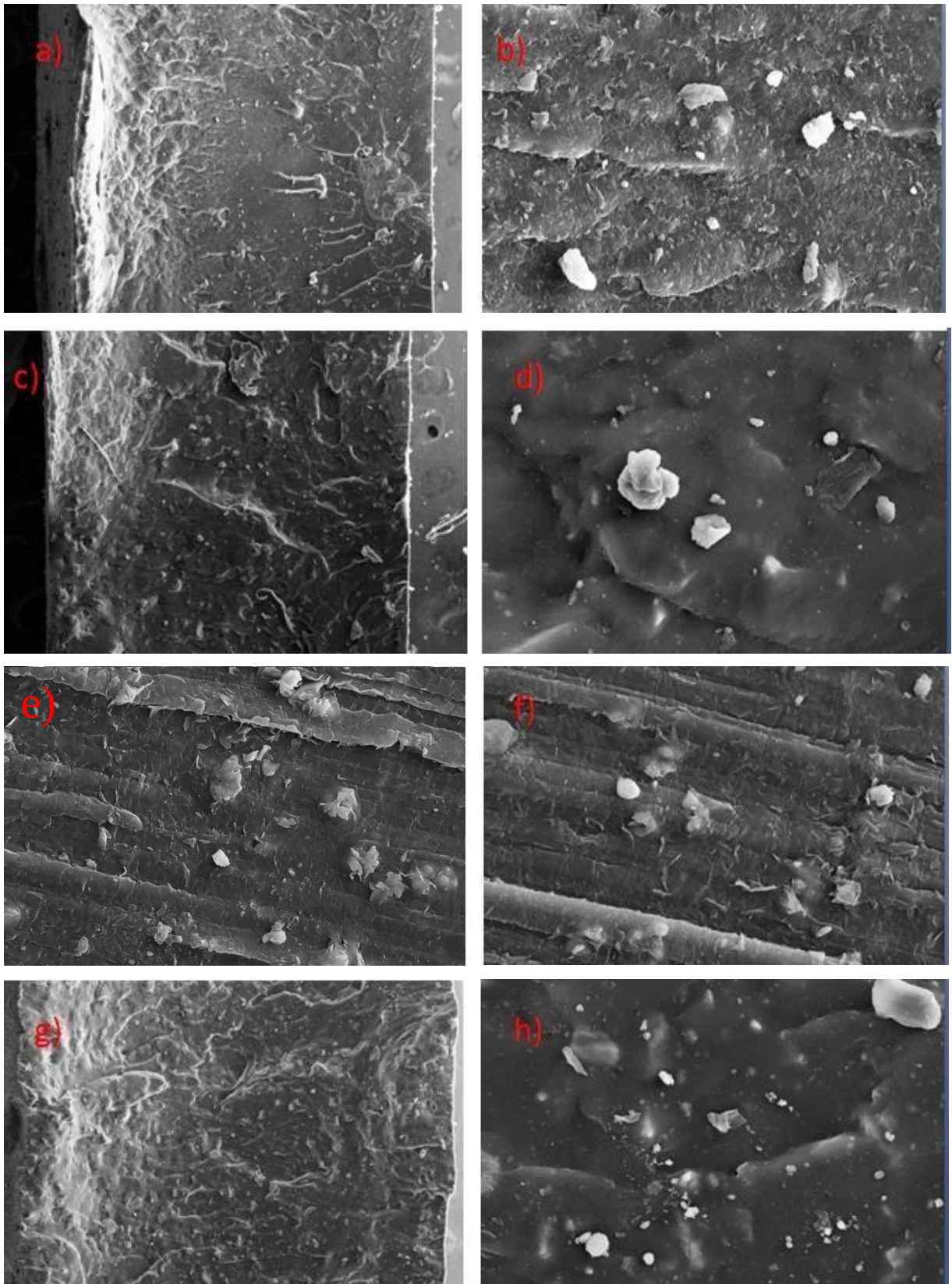


Figura 14- Imagens de MEV do compósitos BN/RCV 10phr (a) 100X, (b) 1.0 KX ; BN/RCV 20phr (c) 100X, (d) 1.0 KX; BN/RCV 30phr (e) 100X, (f) 1.0 KX; BN/RCV 40 phr (g) 100X, (h) 1.0 KX.

Ao adicionar o resíduo no processo de vulcanização nota-se uma alteração na estrutura superficial e interior do material. O aumento na quantidade de resíduo por compósitos torna a disposição da superfície da BN diferente, onde haviam as camadas bem desenhadas, com a carga e principalmente no compósito de 40 phr se observa uma superfície irregular, causada conforme as figuras b),d),f) e h) por causa da influência das quantidades dos grãos na estrutura da amostra, pois conforme observado na Figura 14 o resíduo não dispõe de estruturas regulares.

A Figura 15 apresenta os resultados da análise de EDX do resíduo onde é possível observar que sua estrutura é composta basicamente em média por 22,27% de Sílica, 11,37% de alumínio e 4,95% de Ferro, além de pequenas quantidades de potássio, Cálcio, Titânio e outros elementos.

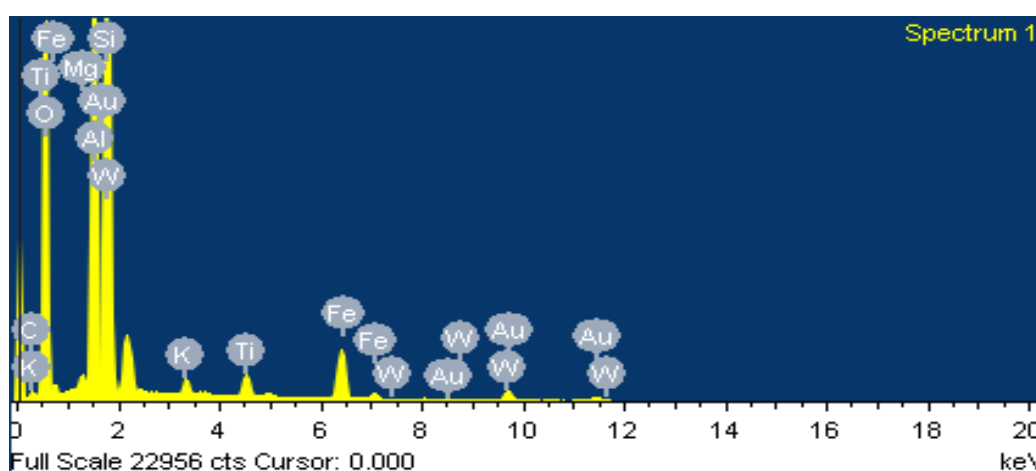


Figura 15- Análise EDX do resíduo de cerâmica vermelha.

A Figura 16 mostra os resultados para a análise realizada na borracha natural, e demonstra sua composição em média por 22,28% de Carbono, 4,95% de Enxofre, também Zinco, Cálcio e outros elementos em pequenas quantidades.

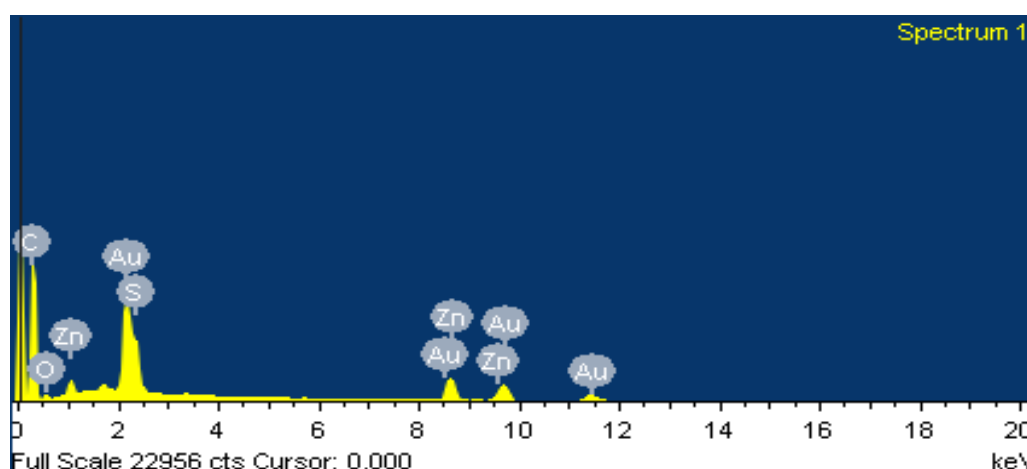


Figura 16- Análise EDX do resíduo de cerâmica vermelha.

A figura 17 apresenta os dados obtidos para o compósito de 40 phr que demonstra uma composição em média de 77,07%m de Carbono, 2,23%m de Si, 1,55%m de alumínio, 1,38%m de Cálcio, 0,63%m de Ferro, 1,38%m de Zinco e outros elementos em quantidades menores.

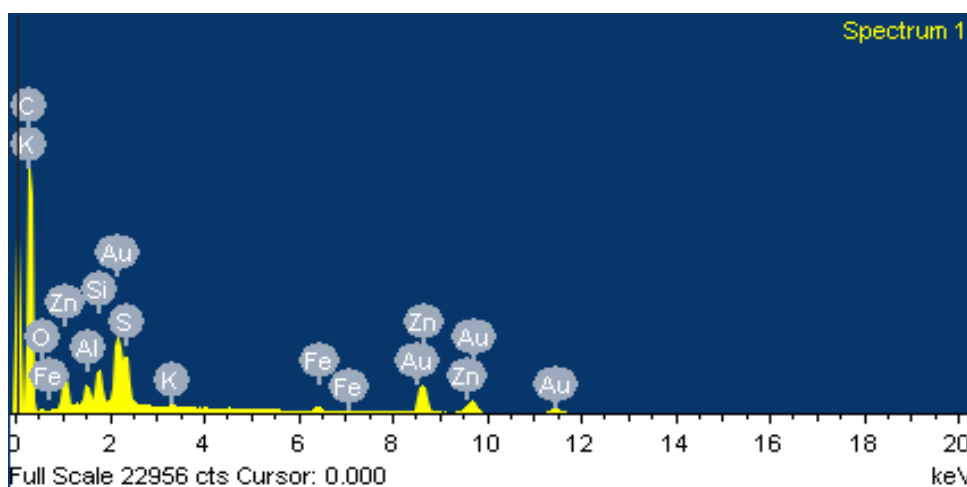


Figura 17- Análise EDX do resíduo de cerâmica vermelha.

Há de se destacar a presença do elemento ouro (Au) no spectrum das amostras é proveniente ao procedimento padrão de recobrimento metálico previamente realizado pela técnica de sputtering.

3.4 Resistência Mecânica à Compressão do Compósito Expansivo

Tabela 7- Resistência à compressão do compósito expansivo.

Compósitos	Compressão (MPa)
BN	4,29 ± 0.15
BN/20 phr	4,02 ± 0,18
BN/40phr	3,39 ± 0.12
BN/60phr	2,10 ± 0.23

Nota-se que o acréscimo de carga de cerâmica vermelha na borracha natural fez com que a resistência á compressão reduzisse para os compósitos de BN/40 phr e BN/60 phr, o que pode estar associado ao aumento na rigidez do

compósito que ao submeter a uma carga tem propriedade mecânica menor quando comparada à propriedade do compósito de BN pura [78].

Quando comparamos os compósitos de BN e BN/20 phr percebe-se que eles mantêm resistências semelhantes, que foi associado ao pouco aumento na rigidez devido á menor quantidade de carga inserida no compósito.

CAPÍTULO 4 – POSSÍVEL APLICAÇÃO

Observando o panorama dos resultados e as discussões, vê-se a possibilidade de aplicação para o compósito expansivo de BN/40 Phr, em divisórias para escritório do tipo painel baixo com altura de no máx. 900 mm.

Tendo em vista que a resistência deste compósito foi a maior com a adição de carga de resíduo e que supri a resistência necessária conforme a norma NBR 13964/2003 para painéis de divisórias do tipo baixo, também por se tratar de compósito polimérico a absorção de impacto é positiva e o uso do compósito se torna viável para essa utilidade.

Atualmente no mercado são disponibilizados alguns tipos de divisórias do tipo baixo como por exemplo de vidro duplo, vidro simples, cegas em MDF, interativas vetro IN, drywall, eucatex entre outros, com os mais variados valores por m², desde as que são consideradas de baixo custo, em média R\$ 87,20 até as divisórias de alto padrão com valores a partir de R\$2500,00 o m².

Estima-se que divisória desenvolvida a partir do compósito não tenha altos custos, contudo o principal destaque é a retirada do resíduo prejudicial ao meio ambiente a possibilidade de aplicação funcional. Desta forma continuar explorando e aprimorando este compósito para aplicações como bloco polimérico em residências.

Conclusão

Pode-se concluir que foi possível a incorporação do resíduo de tijolo cerâmico no processo de vulcanização da borracha para fabricação de compósitos, visto que os resultados de um modo geral se mostraram positivos, como na análise reométrica, quando os compósitos com carga diminuíram o tempo de vulcanização da BN em até 43%, também no ensaio de dureza shore A inserção do resíduo promoveu um aumento dos valores obtidos que pode contribuir para possíveis aplicações, além de aumentar a rigidez do material. O ensaio de abrasão demonstrou que as camadas superficiais se tornaram mais abrasivas exceto para o compósito com 10 phr demonstrou uma leve melhora e para as análises de tensão/deformação foram demonstrados que os compósitos com adição de 10 e 20 phr promoveram uma melhora nessas características, demonstrando uma eficiência na interação dos materiais, e uma maior capacidade de suportar maiores tensões, possibilitando novos estudos para compósitos com melhores tensões de rupturas e aplicações para materiais com maiores deformações. Com os ensaios morfológicos foi possível entender o comportamento do resíduo no compósito, possibilitando estudar a dispersão na estrutura do material, e notar que houve uma boa interação entre a matriz polimérica, os agentes reticuladores, os aceleradores e a carga reforçante, e assim compreender e confirmar os resultados obtidos nas análises mecânicas e reométricas. .

Desta forma foi possível atender o principal objetivo deste trabalho que foi retirar um resíduo prejudicial ao meio ambiente cuja expectativa de descarte incorreto é crescer cada ano mais, além de deteriorar a paisagem e causar a proliferação de pragas e aplicar em um compósito de borracha como carga, como feedback desta ação resultados positivos e possíveis linhas de pesquisas para estudos das propriedades específicas do compósito.

Referências

- [1] ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil. Disponível em <<https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>> . Acesso em: 18 set. 2018.
- [2] ABRELPE, EMPRESAS ASSOCIADAS; ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo: Grappa, 2017.
- [3] ILLORIA SÁEZ, Paola; DEL RÍO MERINO, Mercedes; PORRAS-AMORES, César. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. Waste Management & Research, v. 30, n. 2, p. 137-146, 2012.
- [4] EPA. Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures Report. 2015.
- [5] SOUZA, Ioneide Nunes Carvalho IMPACTOS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS PROCEDENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO: UMA ANÁLISE CONCEITUAL DOS PROCEDIMENTOS PARA MINIMIZÁ-LOS. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVII, Nº. 000108, 07/06/2017.
- [6] HOSSAIN, Md Uzzal; WU, Zezhou; POON, Chi Sun. Comparative environmental evaluation of construction waste management through different waste sorting systems in Hong Kong. Waste management, v. 69, p. 325-335, 2017.
- [7] RESOLUÇÃO CONAMA. 307 de 05 de julho de 2002. Dispõe sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil, 2002.
- [8] Nº, L. E. I. 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos– Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato200, p. 7-2010, 2010.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15113/04: resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- [10] FERREIRA, Rodrigo Cesarino; CARVALHO, Laísa Cristina. ESTUDO DE VERIFICAÇÃO TÉCNICA DO BLOCO DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO CONFECCIONADOS COM AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO MUNICÍPIO DE VARGINHA MG. -, 2019.
- [11] GOMES, Camila Lacerda; POGGIALI, Flávia Spitale Jacques; AZEVEDO, Rogério Cabral de. Concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição e adições minerais: uma análise bibliográfica. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 2, 2019.
- [12] ZIMMER, Arthur Silva et al. Avaliação do potencial do uso de resíduos da construção civil como agregado para base e sub-base de pavimento asfáltico. 2019.
- [13] DA SILVA, Deoclécio Júnior Cardoso et al. UTILIZAÇÃO DO MÉTODO FUZZY TOPSIS PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Revista GESTO, v. 8, n. 1, p. 100-117, 2020

-
- [14] LIMA, Julyana da Silva et al. COMPÓSITO DE SOLO-CIMENTO E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO: PERSPECTIVAS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS. 2019.
- [15] ILLORIA SÁEZ, Paola et al. Viability of Gypsum Composites with Addition of Glass Waste for Applications in Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 31, n. 3, p. 04018403, 2019.
- [16] MAK, Tiffany MW et al. Extended theory of planned behaviour for promoting construction waste recycling in Hong Kong. *Waste management*, v. 83, p. 161-170, 2019.
- [17] JIN, Ruoyu; YUAN, Hongping; CHEN, Qian. Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 140, p. 175-188, 2019.
- [18] DA SILVA, Ayane Maria Gonçalves; PIMENTEL, Márcio Sampaio. Logística reversa na construção civil: um estudo de caso sobre o gerenciamento dos resíduos de construção civil e sua reintegração na cadeia de valor. *Refas-Revista Fatec Zona Sul*, v. 6, n. 2, p. 18-33, 2019.
- [19] JONG, Lei. Particle reinforced composites from acrylamide modified blend of styrene-butadiene and natural rubber. *Polymer Composites*, v. 40, n. 2, p. 758-765, 2019.
- [20] TANG, Siah Ying et al. Preparation and Properties of Spherical Natural Rubber/Silica Composite Powders via Spray Drying. *KONA Powder and Particle Journal*, p. 2020009, 2020.
- [21] DE PAIVA, Fábio Friol Guedes et al. Sugarcane bagasse fiber as semi-reinforcement filler in natural rubber composite sandals. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 21, n. 2, p. 326-335, 2019.
- [22] FERREIRA, Sanderson Rafael da Cunha et al. Estudo da resistência mecânica do compósito a base de baquelite reforçado com manta de fibra de coco. 2019.
- [23] MANO, E.B.; MENDES, L.C. *Introdução a Polímeros*. 2º Ed. Rev. e Amp. São Paulo–SP. Editora Edgar Blucher, 2004.
- [24] ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. *Ciência e Engenharia dos Materiais*. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 547 p.
- [25] VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, v.21, p. 10-19, 2009.
- [26] GONÇALVES, J. A. V. *Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibras de coco*. 2010. 53 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE, 2010.

-
- [27] ABIPLAST. Perfil Plástico - Indústria brasileira de transformação de material plástico, 2017. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-2017.pdf>> Acesso em: 13 de janeiro de 2019.
- [28] SILVA, Rafaela Vanessa Saraiva da. Caracterização de um compósito com casca de arroz e granulado de borracha. 2017. Dissertação de Mestrado
- [29] EZEMA, Ikechukwu Christian et al. Effect of surface treatment and fiber orientation on the tensile and morphological properties of banana stem fiber reinforced natural rubber composite. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, v. 2014, 2014.
- [30] TREVISAN, Bruno et al. Desenvolvimento e caracterização de compósitos de borracha natural com subprodutos de cartuchos de toners. *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, v. 12, n. 12, 2016.
- [31] JUVE, A. E. On Testing Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, v. 37, n. 2, p. 24-34, 1964.
- [32] AZIZI SAMIR, My Ahmed Said; ALLOIN, Fannie; DUFRESNE, Alain. Review of recent research into cellulosic whiskers, their properties and their application in nanocomposite field. *Biomacromolecules*, v. 6, n. 2, p. 612-626, 2005.
- [33] International Rubber Study Group - Natural Rubber Statistical Bulletin, 58, p.9, 2004.
- [34] PUSKAS, Judit E. et al. Natural rubber biosynthesis—A living carbocationic polymerization?. *Progress in polymer science*, v. 31, n. 6, p. 533-548, 2006..
- [35] SIMÕES, Rebeca Delatore. Estudo das propriedades físicas de blendas de PVDF/Látex visando aplicação como biomaterial. 2005. 74 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências de Bauru, 2005.
- [36] AGOSTINI, D.L.S.; CONSTANTINO, C.J.L.; JOB, A.E. Thermal degradation of both latex and latex cast films forming membranes Combined TG/FTIR investigation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 91, p 703–707, 2008.
- [37] FRANÇA, Valério Henrique. Aderência aço-concreto: uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha. 2014.
- [38] FAXINA, Adalberto Leandro; SÓRIA, Manoel Henrique Alba. Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado à quente, empregando ligante tipo asfalto-borracha. 2002.
- [39] XU, Min et al. Wood-rubber composite fabricated from rubber mixing and vulcanization molding process. *Wood and Fiber Science*, v. 49, n. 4, p. 386-395, 2017.
- [40] MEDINA, Nelson Flores et al. Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction. *Construction and Building Materials*, v. 188, p. 884-897, 2018.
- [41] ABRELPE, A. Reteiro Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. 2017.

-
- [42] SHI, Caijun et al. Desempenho de argamassas preparadas com agregado reciclado de concreto enriquecido com polpa de CO₂ e pozzolana. *Cement and Concrete Composites*, v. 86, p. 130-138, 2018.
- [43] DING, Zhikun et al. A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages. *Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 676-692, 2018.
- [44] ERDEM, Savaş; GÜRBÜZ, Ezgi; UYSAL, Mücteba. Micro-mechanical analysis and X-ray computed tomography quantification of damage in concrete with industrial by-products and construction waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 189, p. 933-940, 2018.
- [45] SHAN, Ng Lee et al. Construction Waste Management of Malaysia: Case Study in Penang. *Advanced Science Letters*, v. 24, n. 6, p. 4698-4703, 2018.
- [46] CBIC. PIB nacional cresce 1,1% em 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/33505-2/>>. Acesso em Fev. 2019. 2018.
- [47] AMORIN, K. (2014), Construção civil cresceu 74,25% nos últimos 20 anos, revela estudo do SindusCon-MG. Construção Mercado, Portal PINIweb. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/negocios/construcao-civil-cresceu-7425-nos-ultimos-20-anos-revela-estudo-323993-1.aspx>. Acesso em: 28 set. 2018.
- [48] REDLING, Adam. Construction debris volume to surge in coming years. *Construction & Demolition Recycling*. Accessed April, v. 22, 2018.
- [49] Shibaji Roychoudary. Scroll.in. 1 October, 2014. Disponível em <<https://scroll.in/article/681432/construction-debris-is-choking-india-and-blocking-our-rivers>> Acesso em 28/10/2018
- [50] CONSTRUCT. Perspectivas para o mercado de Construção Civil em 2018. Disponível em <<https://constructapp.io/pt/perspectivas-mercado-construcao-civil/>>Acesso em 26/10/2018.
- [51] Construção Mercado Negócios de Incorporação e Construção. Construção civil cresceu 74,25% nos últimos 20 anos, revela estudo do SindusCon-MG. Disponível em <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/negocios/construcao-civil-cresceu-7425-nos-ultimos-20-anos-revela-estudo-323993-1.aspx>> Acesso em: 26/10/2018.
- [52] Shibaji Roychoudary. Scroll.in, 1 October, 2014. Disponível em <<https://scroll.in/article/681432/construction-debris-is-choking-india-and-blocking-our-rivers>> acesso em 28/10/2018.
- [53] PRESOTTO, Petula. Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos da mineração de serpentinito: obtenção e caracterização. 2012. 96 f. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- [54] PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Effect of the firing temperature on some mechanical properties of red ceramic. *Cerâmica*, v. 56, n. 339, p. 237-243, 2010.

-
- [55] Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas- SEBRAE. Cerâmica Vermelha. 2015. Disponível em <<http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/09/ESTUDO-CERAMICA-VERMELHA.pdf>> Acesso em 27/10/2018.
- [56] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA- ANICER. Perfil do Setor no Brasil. Disponível em <https://www.anicer.com.br/encontro47/wp-content/uploads/2017/12/Perfil_Setor_2018.pdf> Acesso em 27/10/2018.
- [57] Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas- SEBRAE. Boletim de Inteligência. Dezembro/2015. Cerâmica Vermelha: Panorama do Mercado no Brasil. Disponível em <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/\\$File/5846.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf)> Acesso em 27/10/2018.
- [58] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA- ANICER. A Cerâmica Vermelha no Brasil. Disponível em <https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Release_Setor.pdf> Acesso em 27/10/2018.
- [59] ASTM D3182-16, Standard Practice for Rubber—Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- [60] American Society for Testing and Materials (ASTM). “ASTM D 2084 – 01 Standard Test Method for Rubber Property—Vulcanization Using Oscillating Disk Cure Meter”, USA. Disponível em: <http://file.yizimg.com/175706/2012010818310765.pdf>. Acessado em 08/05/2018.
- [61] COSTA, H.M. ET AL. Aspectos históricos da vulcanização. *Polímeros, ciência e tecnologia*. v. 13, nº2. p 125-129. 2003.
- [62] American Society for Testing Materials (ASTM). “D 2240. Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness”. 2010.
- [63] American Society for Testing Materials (ASTM). “D 412 – 06^a. West Conshohocken. 2008.
- [64] American Society for Testing Materials (ASTM). “D 5963 Test Method for Rubber Property--Abrasion Resistance (Rotary Drum Abrader). 2010
- [65] C. Sareena, M. T. Ramesan, E. Purushothaman. (2012). Utilization of Peanut Shell Powder as a Novel Filler in Natural Rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 125(3), 2322-2334. doi: 10.1002/app.36468.
- [66] SHANMUGHARAJ, A. M., BAE, J. H., LEE, K. Y., NOH, W. H., LEE, S. H., RYU, S. H. Physical and chemical characteristics of multiwalled carbon nanotubes functionalized with aminosilane and its influence on the properties of natural rubber composites. *Composites Science and technology*, v. 67, n. 9, p. 1813-1822, 2007.
- [67] Escócio, V.A., Martins, A.F., Visconte, L.L.Y., Nunes, R.C.R., Costa, D.M.R. (2003). Influência da Mica nas Propriedades Mecânicas e Dinâmico-Mecânicas de Composições de Borracha Natural. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 13(2), 130-134. doi: 10.1590/S0104-14282003000200012.

-
- [68] ESCÓCIO, V.A.; MARTINS, A.F.; VISCONTE, L.L.Y.; NUNES, R.C.R. Influência da mica nas propriedades de composições de borracha natural. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.13, p.130-134, 2013.
- [69] Oliveira, M.A.S., Cassu, S.N., Mello, S.A., Dutra, J.C.N. (2014). Influência do teor de negro de fumo nas propriedades dinâmico-mecânicas de borracha natural. In *21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Cuiabá.
- [70] Pinheiro, B.C.A., Holanda, J. N. F. (2010). Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, 56(339), 237-243. doi: 10.1590/S0366-69132010000300005.
- [71] PANTAMANATSOPA, Pruttipong et al. Effect of modified jute fiber on mechanical properties of green rubber composite. *Energy Procedia*, v. 56, p. 641-647, 2014.
- [72] RATTANASOM, N.; PRASERTSRI, S.; RUANGRITNUMCHAI, T. Comparison of the mechanical properties at similar hardness level of natural rubber filled with various reinforcing-fillers. *Polymer Testing*, v. 28, n. 1, p. 8-12, 2009.
- [73] Santos, R.J., Agostini, D.L.S., Cabrera, F.C., Budenberg, E.R., Job, A.E. (2015). Recycling leather waste: Preparing and studying on the microstructure, mechanical, and rheological properties of leather waste/rubber composite. *Polymer Composites*, 36(12), 2275-2281. doi: 10.1002/pc.23140.
- [74] Mousa, A., Heinrich, G., Wagenknecht, U. (2013). The application of solid olive waste as reinforcement in carboxylated nitrile butadiene rubber/organo nano layered silicates composites. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 39(3), 197-203 doi: 10.5276/JSWTM.2013.197.
- [75] YAHYA, YS Rohana; AZURA, A. R.; AHMAD, Z. Effect of curing systems on thermal degradation behaviour of natural rubber (SMR CV 60). *Journal of Physical Science*, v. 22, n. 2, p. 1-14, 2011.
- [76] PICKERING, K.L., EFENDY, M.G.A., LE, T.M.. A Review of Recent developments in natural fiber composites and Their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112, 2016.
- [77] HINTZE, C.; STOCEK, R.; HORST, T.; JURK, R.; WIESSNER, S.; HEINRICH, G. Dynamic Behavior of Short Aramid Fiber-Filled Elastomer Composites. *Polymer Engineering and Science*, v. 54, p. 2958-2964, 2014.
- [78] ESCÓCIO, Viviane A. et al. Influência da mica nas propriedades mecânicas e dinâmico-mecânicas de composições de borracha natural. *Polímeros*, v. 13, n. 2, p. 130-134, 2003.