



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

# APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO CARGA PARA A FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

Camila Maria Rosa Arruda

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais da escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientadores: Fernando Luiz Bastian

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2014

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO CARGA PARA A  
FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

Camila Maria Rosa Arruda

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHARIA DE MATERIAIS.

Examinada por:



Prof. Fernando Luiz Bastian, PhD



Eng. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, D.Sc.



Prof. Rossana Mara da Silva Moreira Thiré, D.Sc.



Rafael de Azevedo Cidade, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRAZIL  
FEVEREIRO de 2014

Arruda, Camila Maria Rosa

Aplicação de resíduos de Rochas Ornamentais como Carga para a fabricação de compósitos de matriz polimérica/ Camila Maria Rosa Arruda – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

xiv, 72 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Fernando Luiz Bastian e Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia do Materiais, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 70-72.

1. Compósitos Poliméricos 2. Resíduos de Rochas Ornamentais. 3. Carga Mineral. 4. Propriedades Mecânicas. 5. Mobiliário Escolar.

I. Bastian, Fernando Luiz; Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia De Materiais. III. Aplicação de Resíduos de Rochas Ornamentais como Carga para a Fabricação de Compósitos de Matriz Polimérica/ Camila Maria Rosa Arruda – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

## **DEDICATÓRIA**

À minha família que, apesar das intempéries da vida, nunca desistiu de seguir em frente.  
Continuemos unidos. Essa conquista é nossa.

*“A Felicidade pertence aos que são  
suficientes a si mesmos, pois toda  
fonte externa de felicidade, pela sua  
própria natureza, é efêmera”*

*Adaptação de Idéuva Maria Rosa à  
obra de Arthur Schopenhauer*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais Ailton Arruda Ferreira Filho e Idéuva Maria Rosa que, mais do que me ensinarem, me mostraram que o estudo é o único bem onipotente que podemos carregar ao longo de nossas vidas, e que a instrução e a educação, juntas, são capazes de nos fazer superar qualquer condição a que fomos fadados ao nascermos.

Às pessoas que tornaram esses 6 anos de graduação tão prazerosos: Fernanda Luz, Fernando Oliveira, Luiza Muri, Jonas Caride, Juliana Lima, Rafaela Moraes, Richard Max Wiborg, Vitor Brasiliense, amigos desde o princípio, nas vitórias e derrotas, amizades que só foram fortalecidas ao longo desses anos. À Vitor Manoel, Wallace Ronda, Thais Pintor e Larissa Ribeiro, que tem meu carinho profundo. São esses companheiros e tantos outros a quem sou tão grata. Posso dizer que graças a eles estes foram anos de ouro, senão os melhores anos da minha vida.

À Atlética da Escola Politécnica (AAAEP), da qual faço parte desde a sua reativação em 2011, por ter me lembrado o prazer em praticar o esporte e, por me conceder o verdadeiro sentido em torcer por um time, a real concepção do “amor pela camisa” (Cachorrada do Fundão).

Ao professor Dilson Santos, por ter aberto a oportunidade para Intercâmbio e, com isso, me proporcionado uma experiência ímpar, que me fortaleceu como profissional e ser humano. Ao professor Ericksson Rocha e Almendra pela generosidade, não só dedicada a mim, mas a todos os alunos que um dia o recorreram.

Ao professor Fernando Luiz Bastian, meu orientador acadêmico e orientador de Projeto Final, por sempre ter sido solícito às minhas necessidades acadêmicas.

Ao meu orientador de iniciação científica e co-orientador de Projeto Final, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, por ter me acolhido, incentivado e ajudado à realização de todo este projeto, durante os 3 anos de bolsa CNPq no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

Ao Lamap do Instituto Nacional de Tecnologia (INT), por ter aberto suas portas a esta grande parceria. Ao Renato Barros e a Márcia Oliveira por terem me dado todo o suporte possível e necessário. Ao Gil Brito e Luiz Mota, da Divisão de Desenho Industrial - DvDI - do INT, por sempre ajudarem a desenvolver nossas ideias no campo do design gráfico.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia de Materiais.

Aplicação de Resíduos de Rochas Ornamentais como Carga para a Fabricação de Compósitos de Matriz Polimérica

Camila Maria Rosa Arruda

Fevereiro/2014

Orientadores: Fernando Luiz Bastian

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Curso: Engenharia de Materiais

O Brasil é o 6º produtor mundial de rochas ornamentais. No entanto, atrelado a essa produção, observa-se a geração de uma quantidade significativa de resíduos, produzidos durante o corte e o beneficiamento das rochas, que podem acarretar grandes impactos ambientais além de problemas econômicos para o setor, que tem como grande desafio o reaproveitamento racional desses resíduos, tornando-o um subproduto economicamente viável para sua comercialização. Nesse contexto, surge a indústria polimérica. As cargas são incorporadas visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termomecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento, e em particular reduzindo os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha. O objetivo deste trabalho foi aplicar resíduo de mármore Bege Bahia como carga em materiais poliméricos. Este apresenta, geralmente, granulometria ultrafina ( $<0,037$  mm) e baixos teores de ferro e silício, caracterizando-o com potencial para aplicação como carga mineral, uma vez que não há necessidades de custos com seu beneficiamento. Assim, o presente estudo deu-se pela incorporação de diferentes percentagens dessa carga mineral numa matriz polimérica de polipropileno, nos permitindo verificar e avaliar as diferentes propriedades existentes entre eles e, conseqüentemente, relacionar possíveis aplicações aos mesmos.

*Palavras-chave: resíduo de rochas ornamentais, compósito polimérico*

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Materials Engineer.

RESIDUE ORNAMENTAL ROCKS APPLICATION AS CHARGE OF POLYMERIC  
MATRIX COMPOSITES MANUFACTURE

Camila Maria Rosa Arruda

February/2014

Advisors: Fernando Luiz Bastian

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Course: Materials Engineering

Brazil is the 6th largest producer of ornamental rocks. However, coupled with this production, there is the generation of a significant amount of waste produced during cutting and processing of rocks, which can cause major environmental impacts as well as economic problems for the sector, which has the great challenge reuse rational of such waste , making it an economically viable for commercialization. In this context, there is the polymer industry. The fillers are incorporated to improve the thermal, mechanical and thermo mechanical properties, changing the surface appearance and processing characteristics , particularly reducing the cost of the polymer composition. The cost of loading and its influence on the final price of the composite strongly affects their choice. The objective of this work was to apply residue Bege Bahia marble as filler in polymer materials This usually presents ultrafine particle size ( < 0.037 mm ) and low concentrations of iron and silicon, characterizing the potential for use as a filler , since no needs for its processing costs. Thus, the present study was due to the incorporation of different percentages of this mineral filler in a polymer matrix polypropylene, allowing us to check and evaluate the different properties among them and, therefore, possible applications relating thereto.

*Keywords:* ornamental rock residue, polymeric composite



## SUMÁRIO

### ÍNDICE DE TABELAS

### ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE SIGLAS

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1. Arranjos Produtivos Locais – APLs.....	16
1.2. O Cetem e os APLs.....	17
1.3. APL do Mármore Bege Bahia.....	17
1.4. Geração de resíduos.....	24
1.5. A Aplicação de Resíduos no Setor Polimérico.....	28
<b>2. OBJETIVO</b> .....	30
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	30
3.1. Origem e Características dos Materiais.....	30
3.1.1. Polipropileno (PP) .....	30
3.1.2. Resíduo de Mármore Bege Bahia.....	30
3.2. Tratamento dos Resíduos.....	31
3.3. Análise Química e Mineralógica dos Resíduos.....	32
3.4. Processamento dos Compósitos.....	32
3.4.1. Preparação da Mistura.....	32
3.4.2. Mistura Mecânica.....	34
3.4.3. Extrusão.....	35
3.4.4. Injeção.....	35
3.5. Ensaio de Caracterização dos Compósitos.....	36
3.5.1. Densidade.....	36
3.5.2. Tamanho Médio ( $\bar{x}$ ) Fração Volumétrica (vp) das Partículas .....	36
3.5.3. Comportamento Mecânico.....	37
3.5.3.1. Tração.....	37
3.5.3.2. Flexão.....	38
3.5.3.3. Impacto Izod a 23°C.....	39
3.5.4. Ensaio de Alterabilidade.....	39
3.5.4.1. Exposição à Névoa Salina.....	39
3.5.4.2. Ensaio de Exposição ao SO <sub>2</sub> .....	40
3.5.5. MEV na Superfície de Impacto.....	41

3.5.6.	Demais Estudos: novos compósitos .....	41
3.6.	Mobiliário Escolar: Seleção dos Compósitos.....	42
3.7.	Mobiliário Escolar: próximos passos.....	42
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
4.1.	Análise Química e Mineralógica.....	42
4.1.1.	Análise Química.....	43
4.1.2.	Análise Mineralógica.....	43
4.2.	Processamento do Compósito de Polipropileno e Calcários.....	44
4.3.	Ensaio de Caracterização dos Compósitos.....	45
4.3.1.	Determinação da Densidade.....	45
4.3.2.	Tamanho Médio ( $\bar{x}$ ) Fração Volumétrica (vp) das Partículas .....	45
4.3.3.	Comportamento Mecânico.....	46
4.3.3.1.	Tração.....	46
4.3.3.2.	Flexão.....	51
4.3.3.3.	Resistência ao Impacto Izod a 23 °C.....	53
4.3.4.	Ensaio de Alterabilidade.....	54
4.3.5.	MEV na Superfície do Impacto.....	54
4.4.	Demais Estudos: novos compósitos.....	60
4.4.1.	Processamento.....	60
4.4.2.	Comportamento Mecânico.....	60
4.5.	Mobiliário Escolar: seleção dos compósitos.....	64
4.5.1.	Escolha dos compósitos BB.....	64
4.5.2.	Escolha da Matriz.....	64
4.5.3.	Escolha do melhor teor de carga .....	64
4.5.4.	Resultado.....	64
4.6.	Mobiliário Escolar: próximos passos.....	65
4.6.1.	Teste de Flamabilidade.....	65
4.6.2.	Design do Tampo de Mesas Escolares.....	65
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
<b>6.</b>	<b>BENEFÍCIOS GERADOS COM ESTE TRABALHO.....</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Composição dos Compósitos de matriz PP HY6100.....	33
Tabela 2. Composição dos Compósitos de matriz PP SM6100.....	34
Tabela 3. Metodologia de Seleção de Materiais.....	42
Tabela 4. Análise química das diferentes amostras do resíduo de mármore .....	43
Tabela 5. Tamanho médio e fração volumétrica das partículas para cada amostra.....	45
Tabela 6. Tensão de Escoamento dos Compósitos de Bege Bahia.....	47
Tabela 7. Deformação na Ruptura dos Compósitos de Bege Bahia.....	49
Tabela 8. Módulo de Elasticidade dos Compósitos de Bege Bahia.....	51
Tabela 9. Módulo de Elasticidade na Flexão dos Compósitos de Bege Bahia.....	52
Tabela 10. Resistência ao Impacto dos Compósitos de Bege Bahia.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: APLs apoiados pelo Governo Federal. ....	16
Figura 2: Aspecto macroscópico do mármore Bege Bahia. ....	18
Figura 3: Resinagem do mármore Bege Bahia. ....	20
Figura 4: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	21
Figura 5: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	21
Figura 6: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	22
Figura 7: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	22
Figura 8: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	23
Figura 9: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	23
Figura 10: Método de extração do mármore Bege Bahia. ....	24
Figura 11: Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia. ....	25
Figura 12: Tanques de retenção de resíduos. ....	25
Figura 13: Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia. ....	26
Figura 14: Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia. ....	26
Figura 15: Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia. ....	27
Figura 16. Localização da Extração do Mármore Bege Bahia.....	31
Figura 17 . Moinho de mistura dos materiais. ....	35
Figura 18.Máquina Extrusora ....	35
Figura 19. Máquina Injetora/ Aranha.....	36
Figura 20. Exemplo de traços aleatórios de mesmo comprimento em uma imagem de escala determinada para contagem dos tamanhos das partículas. ....	37
Figura 21. Desenho esquemático do CP de tração. Máquina Universal de Ensaios Mecânicos. ....	38
Figura 22. Desenho esquemático do CP de flexão em 3 pontos. ....	38
Figura 23. Princípio de funcionamento do Ensaio de impacto Izod.....	39

Figura 24. Exposição das amostras à câmara de salinidade. ....	40
Figura 25. Exposição dos corpos de prova à ação de SO <sub>2</sub> . ....	40
Figura 26. Pedra Cariri 20x40 e aspecto macroscópico das amostras de Calcário Branco e Cinza, respectivamente.....	41
Figura 27. Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduo de mármore Bege Bahia. ....	44
Figura 28: Difratoograma de raios-x da amostra de resíduo. ....	44
Figura 29.Densidade dos Compósitos. ....	45
Figura 30. Imagem do microscópio ótico com aumento de 2000x de (a)BB02, (b)BB06 (c)BB14 e (d)BB18.....	46
Figura 31. Tensão de Escoamento dos diferentes compósitos. ....	48
Figura 32. Deformação Específica de Ruptura dos diferentes compósitos.....	50
Figura 33. Módulo Elástico na Tração dos diferentes compósitos.....	51
Figura 34: Módulo Elástico de Flexão dos diferentes compósitos.....	52
Figura 35: Resultados de resistência ao impacto Izod dos diferentes compósitos.....	54
Figura 36. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB01 e (b)BB06.....	55
Figura 37. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB04 e (b)BB10.....	56
Figura 38. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB01 e (b)BB13.....	57
Figura 39. MEV na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB06 com aumento de 500x e (b)BB18 com aumento de 150x.....	58
Figura 40. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB17 e (b)BB23.....	59
Figura 41. Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduos.....	60
Figura 42: Tensão na Força Máxima dos diferentes compósitos.....	61
Figura 43. Deformação Específica de Ruptura dos diferentes compósitos.....	61
Figura 44. Módulo Elástico na Tração dos diferentes compósitos.....	62
Figura 45. Módulo Elástico de Flexão dos diferentes compósitos.....	63
Figura 46. Resultados de resistência ao impacto Izod dos diferentes compósitos.....	63

Figura .47: Mobiliário escolar para educação (a) infantil e para os ensinos .....	65
Figura 48. Protótipo de mobiliário escolar infantil, desenvolvido no DvDI. ....	65

## ÍNDICE DE SIGLAS

APLs	Arranjos Produtivos Locais
PP	polipropileno
BB	resíduo de mármore Bege Bahia
CC	resíduo de Calcário do Cariri
RB	resíduo de Calcário do Rio Grande do Norte Branco
RC	resíduo de Calcário do Rio Grande do Norte Cinza
CP	corpo de prova
PP HY6100	polipropileno com índice de fluidez
PP SM6100	polipropileno com índice de fluidez
PP-MA	polipropileno grafitizado com anidrido maleico
Irganox	antioxidante fenólico primário

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Arranjos Produtivos Locais - APLs

Os APLs, segundo a política do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, são definidos como aglomerações de empresas localizadas em um mesmo território, que apresentam especialização produtiva e vínculo entre si e com instituições públicas e privadas e outros atores sociais, entre os quais se estabelecem sinergias e parcerias, envolvendo a sociedade, os governos e as unidades produtivas.

Os APLs funcionam desenvolvendo e inovando a tecnologia local e apoiando os processos coletivos de aprendizagem através de cursos seminários entre outros, transferindo tecnologia, organizando-os e integrando-os entre si, através de sistemas dinâmicos de colaboração mútua e de formas associativas/cooperativistas.

A figura 1 apresenta os APLs apoiados pelo Governo Federal, onde se destacou o APL do mármore Bege Bahia.

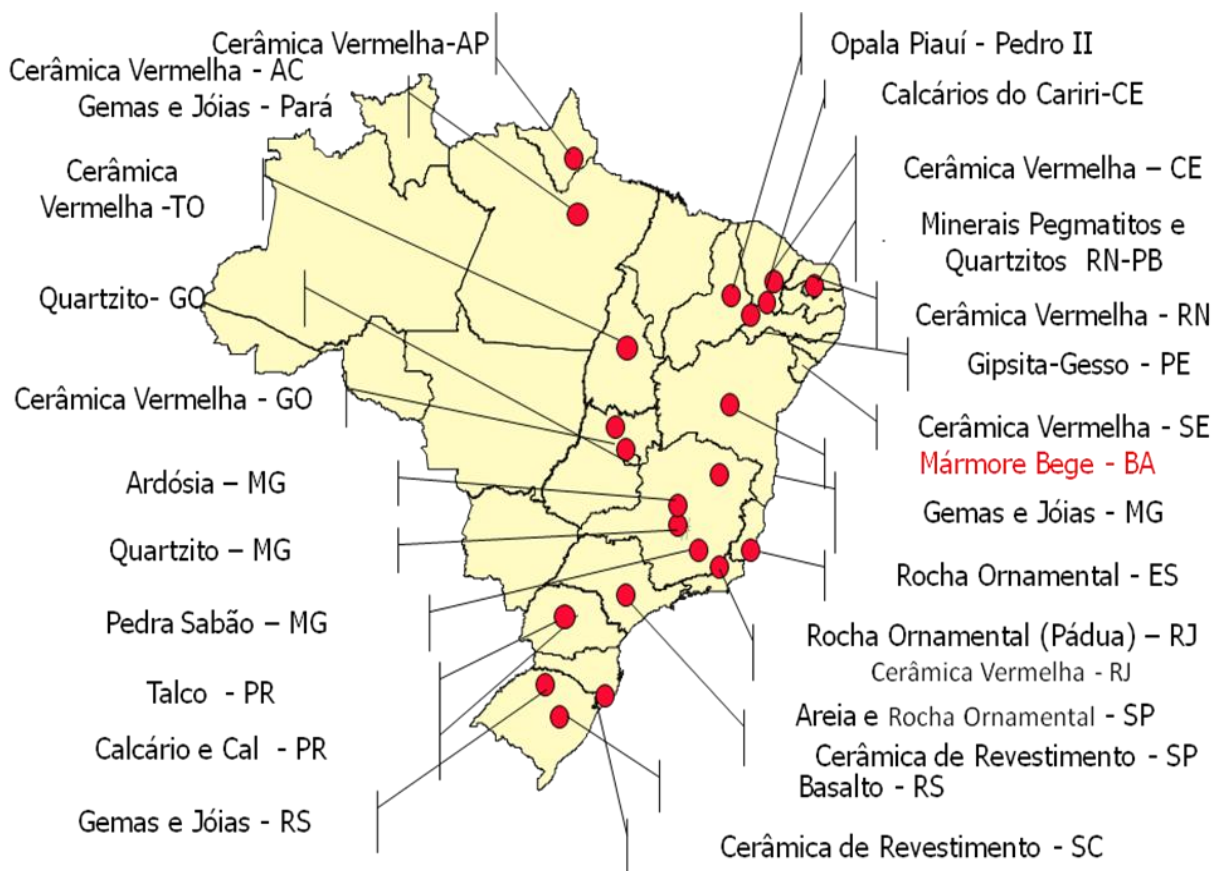


Figura 1. APLs apoiados pelo Governo Federal.



## **1.2. O Cetem e os APLs**

O CETEM atua na modernização dos métodos de extração e processos de beneficiamento com tecnologias inovadoras que aprimoraram as técnicas de lavra e processamento do minério, bem como o aproveitamento de resíduos visando minimizar os impactos ambientais.

Desta forma atua sobre fatores que afetam o desenvolvimento tecnológico e a competitividade dos micro e pequenos produtores, contribuindo para o desenvolvimento sustentável regional.

## **1.3. APL do Mármore Bege Bahia**

A Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo a mais completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas mais famosas rochas azuis, passando para uma variedade de cores incluindo-se mármores, granitos, arenitos e conglomerados.

O calcário conhecido comercialmente como Bege Bahia é um material do tipo “calcrete” ou caliche, abundante na região do rio Salitre. Esta rocha é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, o calcrete provém de alteração de calcários de formação salitre, de ambiente marinho. É identificado como mármore quando, além do padrão estético tão apreciado no Brasil, evidenciam-se as propriedades físicas e tecnológicas do material utilizado como rocha ornamental.

Descoberto há mais de 50 anos como rocha para revestimento, o mármore Bege Bahia teve sua extração e comercialização iniciada a partir da década de 70. Inicialmente extraído em bloquetes para recorte de pequenas peças, desde sua inserção no mercado já recebeu vários nomes, até ficar consagrada como Bege Bahia, uma referência à cor da rocha e seu Estado de origem.

A extração e produção do mármore Bege Bahia, teve início com Guilhermino Jatobá, Gian Franco Biglia e José de Castro que, sem dúvidas, enfrentaram desafios enormes à época para a extração e beneficiamento da rocha, em função da infra-estrutura precária em relação ao transporte, energia, mão de obra, comunicação e inexistência de tecnologia e insumos apropriados.

Extraído e beneficiado na região de Ourolândia, região centro-norte do Estado da Bahia, no vale do Rio Salitre, o mármore Bege Bahia, corresponde petrograficamente ao calcário não metamórfico.

As jazidas ocorrem na formação geológica “caatinga”, nas várias tonalidades da cor Bege. De ocorrência calcária plana e sedimentação secundária, as pedreiras são cobertas por uma grande quantidade de casqueiro, que é removido para abertura de poços, tanto por meio do rebaixamento de pisos quanto do tombamento de bancadas de até seis metros. Nesses casos, é utilizado o fio diamantado, buscando sempre o maior aproveitamento da matéria prima e pisos mais compactados sem infiltração. Após a extração dos blocos, ocorre a seleção da matéria prima.

O mármore Bege Bahia tem a ocorrência média de 20% de materiais muito claros e outros 80% claros, o que demonstra a beleza particular da rocha natural (Figura 2) e características para atender as mais diversas tendências.



Figura 2. Aspecto macroscópico do mármore Bege Bahia.

A região árida de Ourolândia foi impulsionada pelo setor de rochas e evoluiu muito nos últimos 10 anos. A instalação da indústria de beneficiamento próxima às pedreiras viabilizou a extração, uma melhor seleção da matéria prima, redução dos custos de logística em aproximadamente 25% possibilitando agregar valor aos materiais, e o fim da atuação de mero exportador de matéria prima para outros Estados.

O setor de rochas de Ourolândia permitiu ainda uma grande inclusão social e a formação profissional de aproximadamente 700 pessoas diretamente, com um grande contingente de mão de obra feminina na área de acabamento e pequenas peças. A tecnologia avançada e know-how de padrão internacional gera outros muitos benefícios ao

município, tais como: transporte, energia elétrica, telefonia fixa, sistema de telefonia celular e fomento ao comércio local. Entre 2001 e 2002 foram instalados os dois primeiros teares diamantados, dando início ao “Pólo Produtivo do Mármore Bege Bahia”. Atualmente, o parque industrial conta com aproximadamente 11 empresas, onde estão instalados 14 teares diamantados nacionais e importados, politrizes e linha de ladrilhos. A produção mensal do pólo de Ourolândia soma aproximadamente 100 mil metros quadrados de chapas, ladrilhos e revestimentos em geral.

A aparência rústica do mármore aceita os mais variados tipos de acabamento (in natura, levigado, escovado, apicoado, flameado, jateado e polido) e diversas formas de resinagem (figura 3), além de chapas de grandes tamanhos, espessuras variadas e sob medida.

A qualidade que o mármore Bege Bahia adquiriu ao longo do tempo com o uso de resinas e cristalizadores o torna competitivo com materiais provenientes de várias partes do mundo, como Espanha, Egito, Turquia e Peru.

A versatilidade, beleza e qualidade do Bege Bahia fizeram com que o material caísse no gosto dos especificadores e passasse a ser utilizado em projetos de arquitetura e design de interiores.

As chapas polidas são amplamente aplicadas, sobretudo, para concepção de projetos de bancadas, tampos de mesa, mobiliário e revestimento. Uma tendência atual na arquitetura é a especificação do material também numa forma mais rústica, com a utilização de chapas brutas e ou escovadas/envelhecidas. Outra aplicação freqüente é em projetos para a área externa, como bordas de piscinas, devido à característica antiderrapante e térmica do material (Rochas de Qualidade, 2009).



Figura 3. Resinagem do mármore Bege Bahia.

As jazidas e ocorrências do mármore Bege Bahia se distribuem entre os municípios de Ouro-lândia, Campo Formoso, Mirangaba, Jacobina e Umburamas, no centro norte da Bahia. Os principais pólos de extração do mármore Bege Bahia, em ordem crescente de importância, são os de Curral Velho (Campo Formoso), Mirangaba e Ouro-lândia. As medidas nesses municípios somam um volume cerca de 6.820.000 m<sup>3</sup>.

Os métodos de extração do mármore Bege Bahia (figuras 4 – 10) variam desde manuais, sem o mínimo cuidado ambiental, a avançados. As técnicas de transformação de blocos em peças ornamentais são também variáveis. Assim, por meio do APL do mármore Bege Bahia, onde o Cetem teve grande participação e coordenação, foi proposto a criação de um pólo industrial entre Ouro-lândia e Jacobina, para o desenvolvimento sustentável da lavra e do beneficiamento.



Figura 4. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 5. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 6. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 7. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 8. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 9. Método de extração do mármore Bege Bahia.



Figura 10. Método de extração do mármore Bege Bahia.

#### 1.4. Geração de Resíduos

Segundo a ABIROCHAS (2012), o Brasil é o sexto produtor mundial de rochas ornamentais, com uma produção anual de cerca de oito milhões de toneladas, onde o parque industrial brasileiro é basicamente constituído de aproximadamente 1.600 teares de lâminas convencionais. Atrelada a essa produção observa-se a geração de uma quantidade significativa de resíduos grosseiros (casqueiros e sobras de chapas e ladrilhos) e de resíduos finos na forma de lama, geralmente composta por água, pó de rocha e algum abrasivo (granalha) (Silva, 1998). No caso do resíduo Bege Bahia não são detectados abrasivos visto que o processo é essencialmente em teares diamantados o que facilita sua aplicação como carga mineral (Vidal, 2009).

A retirada de blocos para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, devido a quebra das peças durante o corte, e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída, que após o processo são lançadas no meio ambiente. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo em alguns casos canalizada diretamente para os rios e lagos, ou acumuladas nas serrarias ou pedreiras (Farias, 1995) <sup>[1]</sup>. No que tange ao processo de



extração do mármore Bege Bahia pode-se verificar das figuras 11 a 15 depósitos do resíduo do mármore Bege Bahia em Ourolândia – BA'.



Figura 11. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.



Figura 12. Tanques de retenção de resíduos.



Figura 13. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.



Figura 14. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.



Figura 15. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.

A produção e o consumo de rochas ornamentais no Brasil apresentou crescimento notável nas últimas décadas, devido sua utilização em revestimentos externos de prédios, pisos, paredes, mesas, pias, etc. Nesse sentido, destacam-se os granitos, mármore, ardósias e calcários que, possuem beleza visual, são as rochas resistentes e não perdem o brilho de polimento durante longos anos (Vargas et al., 2001).

O processo de extração de rochas ornamentais começa nas pedreiras, onde essa rocha é encontrada na sua forma natural. O material é extraído através de cortes realizados com fios diamantados, que fatiam as montanhas tirando os blocos. O bloco é então levado à serraria onde máquinas como os teares cortam os mesmos, transformando-os em chapas. Posteriormente, as chapas são trabalhadas e transformadas no produto final (Carriso, 2003).

Devido ao incremento no uso das rochas ornamentais, as empresas foram obrigadas a elevar seus atuais níveis produtivos e ao mesmo tempo melhorar a qualidade do produto. Assim sendo, os métodos tradicionais de lavra de blocos tiveram um grande progresso científico industrial, na conversão para métodos com tecnologias avançadas de corte, no que se refere ao aperfeiçoamento e inovação das técnicas e equipamentos utilizados nessa atividade, além da crescente preocupação com o meio ambiente (Vidal, 1999).

## 1.5. A Aplicação de Resíduos no Setor Polimérico

Com a crise do petróleo nos anos 60 e 70 os materiais poliméricos atingiram preços exorbitantes. Para reduzir um pouco os custos de fabricação, os fabricantes de peças adotaram um procedimento antigo como meio de viabilização econômica: o uso de cargas minerais de baixo custo como aditivos em plásticos e borrachas com fins não reforçantes. A necessidade despertou o interesse maior pelo uso técnico de cargas, levando a grandes desenvolvimentos nessa "area, de modo que hoje as cargas se constituem no aditivo mais empregado (em termos percentuais de consumo) nos plásticos. A visão de servir apenas como enchimento ficou ultrapassada, pela possibilidade de grandes alterações nas propriedades dos materiais (Rabello, 2000).

Nesse contexto, surge a indústria polimérica que pode ser mais uma alternativa para a aplicação dos resíduos na geração de compósitos poliméricos. A adição de cargas minerais aos materiais termoplásticos tem se tornado cada vez mais frequente na indústria de polímeros. As cargas são incorporadas aos plásticos visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento, e em particular reduzindo os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha (Ramos et al, 1993).

As propriedades de um compósito dependem de alguns fatores, tais como: natureza da matriz, concentração da carga, interação carga-matriz e condições de processamento. No que diz respeito à carga as características mais importantes são seu tamanho e forma, sua capacidade de agir como agente nucleante para a cristalização e sua capacidade de aderir à matriz.

As interações entre cargas minerais e os polímeros são dificultadas, visto que as cargas minerais apresentam superfícies polares aliadas a elevados valores de área superficial, enquanto que os polímeros são em sua maioria apolares. Essa diferença de polaridade prejudica a molhabilidade das cargas minerais pelo polímero e também a sua dispersão.

Durante o processo de mistura entre a carga mineral e o polímero, devido à força de adesão entre as partículas minerais e à tensão interfacial entre estas e o polímero, as partículas de carga mineral tendem a formar agregados. A presença de agregados é particularmente relevante quando da presença de partículas com granulação inferior a 20µm de diâmetro, situação em que as forças atrativas entre elas podem ser mais

importantes que o seu próprio peso. As principais forças que existem entre as partículas de cargas minerais são: forças eletrostáticas, forças de van der Waals e pontes de hidrogênio.

A partícula de carga mineral costuma ter a sua força de tensão superficial muito superior àquela do polímero. Se esta partícula fosse adicionada ao polímero sem que tivesse sido tratada superficialmente, ela tenderia a se aglomerar e a não se dispersar porque a força de interação partícula-partícula (coesão) seria maior do que a força de interação partícula-polímero (adesão).

Com o tratamento superficial adequado, a força de tensão superficial da carga mineral é diminuída a valor menor do que aquele da força de tensão superficial do polímero. Assim, a força de interação partícula-partícula sendo menor que a força de interação partícula-polímero permite que a carga se disperse mais facilmente na matriz polimérica.

Dependendo do agente de tratamento empregado, a partícula será apenas dispersa na matriz do polímero sem que haja interação entre ela e o polímero. Em outras situações o agente que promove a dispersão também favorece, por algum meio, forte interação partícula-polímero. Os tratamentos mais empregados atualmente envolvem o uso de ácidos graxos ou silanos.

Os agentes de tratamento superficial à base de organossilanos, constituídos quimicamente por cadeias monoméricas de silício, têm amplo uso por sua habilidade de interligar quimicamente polímeros orgânicos a materiais inorgânicos, como as cargas minerais (Plueddermann, 1974). Quando os organossilanos são adicionados a estes sistemas melhoram suas propriedades físicas e químicas, mesmo quando submetidos a severas condições ambientais.

Os tratamentos superficiais à base de ácidos graxos são considerados do tipo dispersantes, promovendo uma melhor dispersão da mineral no compósito. Ácidos graxos em particular, são muito eficientes em facilitar a incorporação de cargas minerais polares em polímeros apolares no estado fundido, resultando na redução da viscosidade do polímero fundido e melhorando a dispersão. Isto é alcançado pela diminuição da tensão superficial da carga mineral, resultando no favorecimento do molhamento de sua superfície pela matriz polimérica. No entanto, a força de adesão é reduzida (Liaw et al, 1998).

Os compósitos de matriz polimérica estão sujeitos à degradação seja durante o processamento ou no uso final. Como consequência tem-se: aumento do índice de fluidez, descoloração, perda de brilho (superfície) e perda de propriedades mecânicas (impacto, tração e alongamento). Todavia, a degradação da matriz polimérica pode ser controlada, através de duas formas: modificação do polímero e adição de estabilizantes. Esta última possibilidade é mais utilizada, visto que a modificação de um polímero nem sempre é conveniente. As duas classes mais importantes são: antioxidantes e estabilizantes à luz.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi analisar as modificações nas propriedades do polipropileno com a incorporação de diferentes cargas do resíduo oriundo do corte do mármore Bege Bahia, visando à mitigação do impacto ambiental e a produção de compósitos de baixo custo que possam ser utilizados na indústria polimérica na confecção dos mais diversos objetos, com enfoque na fabricação de mobiliário escolar, bem como na confecção de patente e transferência de tecnologia.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Origem e Características dos Materiais**

#### **3.1.1. Polipropileno (PP)**

Trabalhamos com inserção de cargas em duas matrizes diferentes. Se tratam de dois tipos de polipropileno: o PPHY6100 e o PPSM6100. O Polipropileno HY6100 apresenta índice de fluidez 1,5g/10min e densidade de 0,905 g.cm<sup>-3</sup>. Já o Polipropileno SM6100 apresenta índice de fluidez 11g/10min e mesma densidade.

Também foi utilizado o PP-MA, como função de compatibilizante. O PP-MA tem como função facilitar a interação da carga com a matriz.

Ambos foram doadas pela fabricante Suzano Petroquímica (Polibrasil), e fornecidos pelo Instituto Nacional de Tecnologia - INT.

#### **3.1.2. Resíduo de Mármore Bege Bahia**

O mármore bege Bahia, como é conhecido comercialmente no setor de rochas ornamentais, é uma rocha calcária abundante na região do rio Salitre, que é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, e provém de alterações de calcários de formação salitre (Ribeiro & Magalhães, 2003) (Magalhães, 2008).

A extração desse mármore se concentra no pólo industrial entre as cidades de Ourolândia e Jacobina, e o desdobramento dos blocos ocorre em teares diamantados, além de se observar a utilização de talha-blocos para o aproveitamento de pequenos blocos para produção de ladrilhos (Vidal *et al.*, 2009).

Além do tear diamantado ser 6 vezes mais produtivo que o tear convencional, ele exclui a necessidade de utilização de abrasivos no corte do mármore, contribuindo para uma menor contaminação tanto dos blocos quanto dos resíduos gerados.



Figura 16. Localização da Extração do Mármore Bege Bahia  
(Disponível em : <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ourol%C3%A2ndia>)

A amostragem dos resíduos foi realizada em seis pontos específicos classificados como amostras 1 e 2 (Bege Bahia), amostras 3 e 4 (Cava 1) e amostras 5 e 6 (Travertino). No entanto, após a verificação da homogeneidade química e mineralógica, misturou-se todo resíduo para preparação dos compósitos.

### 3.2. Tratamento dos Resíduos

Os resíduos foram peneirados até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas e em seguida, foram desagregados.

### **3.3. Análise Química e Mineralógica dos Resíduos**

A determinação da composição química e mineralógica dos resíduos foi realizada pela Coordenação de Análises Mineraias (COAM) do CETEM.

As amostras foram preparadas por prensagem do material a 20 ton por 3 minutos (amostragem a cargo do solicitante).

As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios X BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh.

Para obtenção da análise química semiquantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software Spectraplus v.1.6 no modo standardlessmethod, sem curva de calibração específica.

### **3.4. Processamento dos Compósitos**

#### **3.4.1. Preparação da Mistura**

Considerando que repetiremos este procedimento para cada tipo de PP, o processamento consistiu, numa primeira etapa, da mistura do polipropileno com 10, 20, 30, 40 e 50%, em massa, de resíduo de mármore BB.

Foi utilizado, para todas as composições Irganox 1010, que é um antioxidante.

Foram processados compósitos de mesmos percentuais de cargas, contudo, substituindo parte do PP pelo PP-MA. Trata-se de um compatibilizante de Polipropileno grafitizado com anidrido maleico, que tem por objetivo inicial facilitar a interação carga-matriz.

A Tabela 1 mostra a composição dos compósitos de resíduo de mármore Bege Bahia.



Tabela 1. Composição dos Compósitos de matriz PP HY6100.

<b>Composição</b>	<b>PP (HY 6100)</b> <b>(g)</b>	<b>PP-MA</b> <b>(g)</b>	<b>Bege Bahia</b> <b>(%)</b>	<b>Irganox 1010</b> <b>(g)</b>
BB01	400	0	0	4
BB02	400	0	10	4
BB03	400	0	20	4
BB04	400	0	30	4
BB05	400	0	40	4
BB06	400	0	50	4
BB07	360	40	0	4
BB08	360	40	10	4
BB09	360	40	20	4
BB10	360	40	30	4
BB11	360	40	40	4
BB12	360	40	50	4

As quantidades percentuais em massa foram devidamente colocadas dentro de um recipiente plástico que foi lacrado.

Para os compósitos de matriz PP SM6100, utiliza-se as mesmas composições, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Composição dos Compósitos de matriz PP SM6100.

<b>Composição</b>	<b>PP (HY 6100) (g)</b>	<b>PP-MA (g)</b>	<b>Bege Bahia (%)</b>	<b>Irganox 1010 (g)</b>
BB13	400	0	0	4
BB14	400	0	10	4
BB15	400	0	20	4
BB16	400	0	30	4
BB17	400	0	40	4
BB18	400	0	50	4
BB19	360	40	0	4
BB20	360	40	10	4
BB21	360	40	20	4
BB22	360	40	30	4
BB23	360	40	40	4
BB24	360	40	50	4

Portanto, como metodologia de comparação, teremos os seguintes compósitos com cargas de 10, 20, 30, 40 e 50% de mármore Bege Bahia:

- BB + PP (HY6100): BB01 à BB06
- BB + PPMA +PP (HY6100): BB07 à BB12
- BB + PP (SM6100): BB13 à BB18
- BB + PPMA +PP (SM6100): BB19 à BB24

### 3.4.2. Mistura Mecânica

O recipiente plástico foi colocado dentro de um moinho (Figura 17) que contou apenas com suaa rotação, para promover a mistura mecânica dos materiais, deixando a combinação mais homogênea para quando vertido na máquina extrusora.



Figura 17 . Moinho de mistura dos materiais.

### 3.4.3. Extrusão

A mistura foi extrusada, por meio da máquina extrusora dupla-rosca modelo DCT 20, fabricante ExtrusãoBrasilMáquinas e Equipamentos Ltda, utilizando-se as seguintes condições: velocidade de rotação de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 165°C e 230°C para a confecção do compósito.



Figura 18. Máquina Extrusora

### 3.4.4. Injeção

A forma final dos corpos de prova foi obtida pela máquina Injetora *Battenfeld Plus 35*. As nomenclaturas das diferentes composições dos resíduos de calcários nos compósitos encontram na tabela 1.

O polímero é então moldado em forma de aranha, que é composta por 2 corpos de prova para ensaio de tração (Norma ASTM D 638) e 2 corpos de prova para utilização nos ensaios de flexão e impacto (Normas ASTM D 790 e ASTM D 256-05, respectivamente)



Figura 19. Máquina Injetora/Aranha

### 3.5. Ensaio de Caracterização dos Compósitos

#### 3.5.1. Densidade

A densidade dos compósitos foi determinada segundo a norma ASTM D792-13, método B no qual as amostras foram emersas e imersas em álcool etílico.

O cálculo é realizado por intermédio do cálculo da gravidade específica (densidade relativa, DR):

---

#### 3.5.2. Tamanho Médio ( $\bar{x}$ ) Fração Volumétrica ( $v_p$ ) das Partículas

Através do procedimento de análise microestrutural de compósitos, pudemos calcular o tamanho médio das partículas para cada compósito, em cada percentagem (em massa) de carga (BB02 ao BB03 e BB13 ao BB18.)

O procedimento consistiu das seguintes etapas:

- a) Seleção de 1 amostra de cada compósito: estas amostras foram devidamente preparadas (lixamento e polimento) para a realização microscopia ótica:
- b) Microscopia Ótica: feita com objetivo de obter 5 imagens para cada amostra. A imagem deveria deflagrar, com nitidez, as partículas de BB contidas na matriz de PP HY6100 e de PP SM6100.

- c) Análise da Imagem: para cada imagem foram traçadas 2 retas de comprimento arbitrado (200mm), com direções aleatórias, para em seguida, relatar o tamanho de todas as partículas contidas em cada reta. Ao final de 5 imagens, tem-se 10 retas e, com elas,  $n$  partículas sobre essas retas.
- d)  $\bar{x}$ : obtém-se o tamanho médio através da média das partículas contidas sobre as retas traçadas
- e)  $v_p$ : aproxima-se o volume ocupado por uma partícula ao somatório dos tamanhos das partículas contidas em cada linha traçada. Sendo assim, para cada linha, teremos um valor de fração volumétrica. A fração volumétrica das partículas no compósito será a média das frações calculadas para as 5 imagens (as 10 linhas).

Para exemplificação do procedimento descrito, a Figura 20 nos mostra uma das imagens obtida através do microscópio óptico de reflexão.

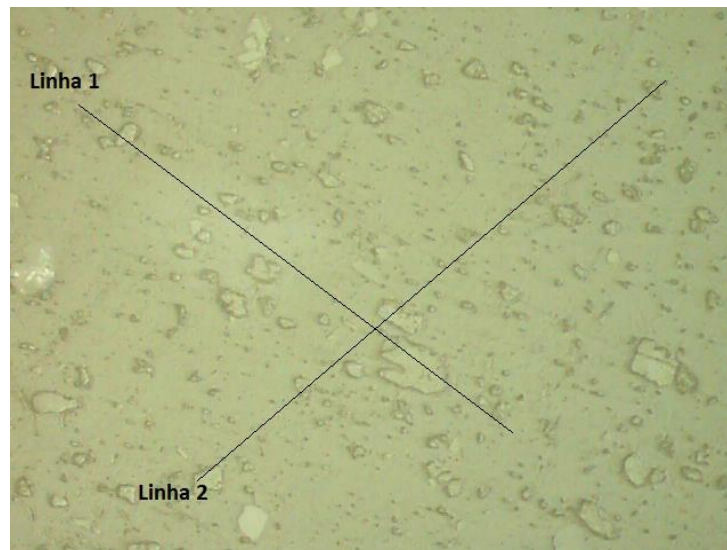


Figura 20. Exemplo de traços aleatórios de mesmo comprimento em uma imagem de escala determinada para contagem dos tamanhos das partículas.

### 3.5.3. Comportamento Mecânico

#### 3.5.3.1. Tração

O ensaio de tração foi realizado utilizando-se uma máquina universal de ensaios mecânicos da marca *Emic*, com capacidade de carga de , de acordo com a norma ASTM D 638, a temperatura de 23 °C e velocidade de 50mm/min.

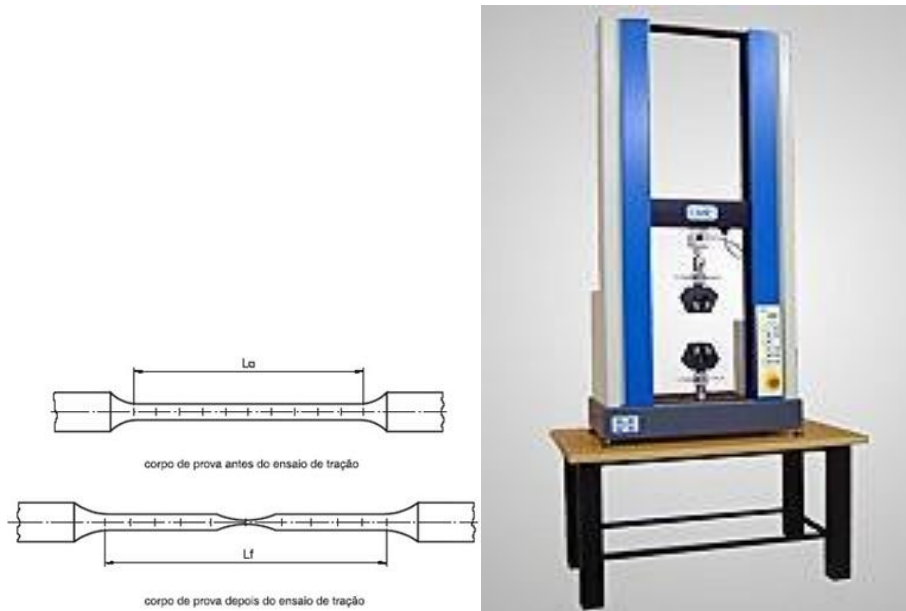


Figura 21. Desenho esquemático do CP de tração/Máquina Universal de Ensaio Mecânicos

### 3.5.3.2. Flexão

Já o ensaio de flexão foi realizado utilizando-se a mesma máquina universal de ensaios mecânicos da marca *Emic*, de acordo com a norma ASTM D 790, a temperatura de 23 °C e velocidade de 1,3mm/min

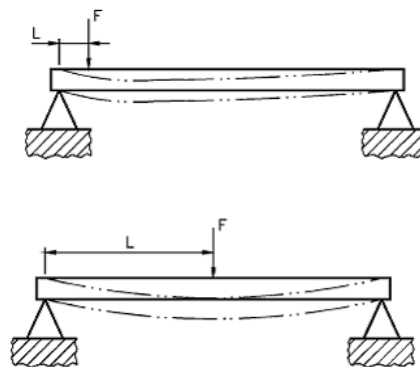


Figura 22. Desenho esquemático do CP de flexão em 3 pontos.

### 3.5.3.3. Impacto Izod a 23°C

O ensaio de resistência ao impacto do PP e dos compósitos foi realizado a partir da mediana dos resultados de energia cinética absorvida para romper cada corpo-de-prova. Foram utilizados 10 corpos-de-prova, que foram entalhados (2,54mm) e analisados segundo a norma ASTM D 256, utilizando o martelo de 2,7J.

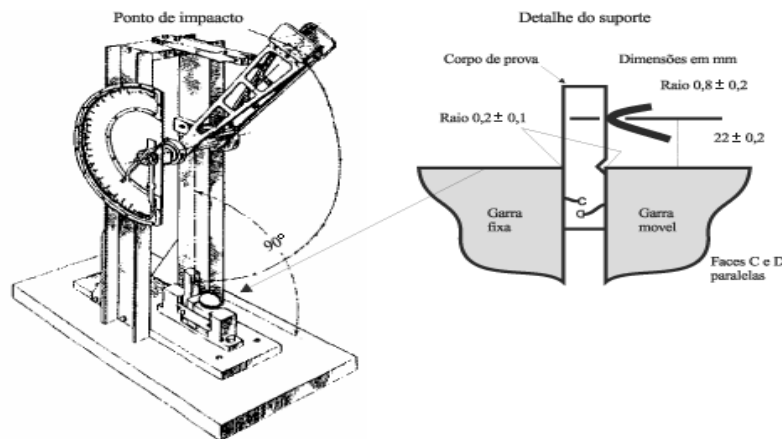


Figura 23. Princípio de funcionamento do Ensaio de impacto Izod.

### 3.5.4. Ensaios de Alterabilidade

Submeteu-se os compósitos a diferentes condições de intemperismo e, em seguida, avaliamos seus aspectos visuais, bem como seu comportamento mecânico, para efeito de comparação àqueles que não sofreram influência de um meio agressivo.

#### 3.5.4.1. Exposição à Névoa Salina

Para o ensaio de exposição à névoa salina, os corpos-de-prova foram pesados e mediu-se o brilho e a cor. Após esta etapa, os mesmos foram condicionados em câmara sob a ação de *spray* salino por 6 horas e secagem por 12 horas, totalizando 18 horas (1 ciclo). Durante o ciclo, a temperatura da câmara climática marinha foi mantida em  $(40 \pm 5)$  °C. Passados 30 ciclos, os corpos-de-prova foram pesados e mediu-se o brilho novamente, obtendo deste modo, o seu peso, cor e brilho final. O ensaio baseou-se na norma ABNT/NBR 8094/83. Além disso, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos.



Figura 24. Exposição das amostras à câmara de salinidade.

#### 3.5.4.2. Ensaio de Exposição ao SO<sub>2</sub>



Figura 25. Exposição dos corpos de prova à ação de SO<sub>2</sub>.

Inicialmente procedeu-se a lavagem e secagem dos corpos-de-prova em estufa por 24 horas à 70°C, mediu-se os valores iniciais de brilho, cor e realizou-se a pesagem dos mesmos. Colocou-se os corpos-de-prova na câmara, suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de *nylon*, ajustou-se a temperatura para 40°C e adicionou-se o SO<sub>2</sub>. Devido a presença de água na câmara, há formação de um ambiente ácido, capaz de atacar as rochas e simular o efeito da chuva ácida. As rochas ficam em exposição a este ambiente durante 8 horas. Passado este tempo, desligou-se o aparelho, abriu-se a



câmara para ventilação do seu interior, permanecendo, assim, por 16 horas o que caracterizou a conclusão de 1 ciclo. O ensaio por exposição ao SO<sub>2</sub> baseia-se na norma ABNT/ NBR 8096/83. Além disso, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos.

### 3.5.5. MEV na Superfície de Impacto

Foram analisadas imagens sobre as superfícies de ruptura dos CPs provenientes do ensaio de impacto, dos compósitos d matriz PP HY6100 a fim de avaliá-la microscopicamente.

### 3.5.6. Demais Estudos: Novos Compósitos

Graças aos resultados obtidos através dos compósitos BB, com o mármore Bege Bahia, pôde-se dar prosseguimento a estudos com outros resíduos carbonáticos, que também apresentam altos teores de óxido de cálcio, provenientes de rochas ornamentais.

Nesses estudos, os compósitos foram processados utilizando-se somente o PPSM6100 como matriz e sem o auxílio de compatibilizante.

Comparativamente, processamos o que seria equivalente às nomenclaturas BB01 (PPSM6100 puro) à BB06 (50% de carga).

As cargas utilizadas são provenientes dos seguintes resíduos: Calcário do Cariri (CC); mármore do Rio Grande do Norte Branco (RB) e mármore do Rio Grande do Norte Cinza (RC). A Figura 26. mostra o aspecto macroscópico dessas rochas.



Figura 26. Pedra Cariri 20x40 e aspecto macroscópico das amostras de Calcário Branco e Cinza, respectivamente

Para efeito de comparação de propriedades mecânicas, foram repetidos os ensaios de tração, flexão e impacto para os compósitos de cada resíduo.

### 3.6. Mobiliário Escolar: Seleção dos Compósitos

Tem-se por objetivo a implementação dos compósitos de mármore Bege Bahia na confecção de mobiliário escolar. Como esta indústria é muito ampla, são escolhidas especificamente um componente para estudo: tampo de mesa escolar.

Nesse contexto, pode-se realizar a seleção dos melhores teores e da melhor matriz para cumprirmos este objetivo.

Para tanto, com base nos princípios de seleção de materiais, está destacada na tabela 2 metodologia a ser aplicada.

Tabela 3. Metodologia de Seleção de Materiais

<b>Função</b>	tampo de mesa escolar
<b>Restrições</b>	resistência à flexão e à flamabilidade
<b>Objetivo</b>	peso, custo, comportamento mecânico
<b>Variáveis livres</b>	matriz; teor

Foram utilizadas de base as Normas NBR 14006 e NBR 14007, que contêm os requisitos para móveis escolares “Móveis Escolares – Assentos e mesas para conjunto aluno de instituições educacionais”

### 3.7. Mobiliário Escolar: próximos passos

Já direcionado para uma aplicação específica, tampo de mesa escolar, os compósitos devem agora estar conforme a mesma. Sendo assim, serão realizados os futuros ensaios de flamabilidade e desenvolvimento de um design específico, baseados na necessidade em atender os requisitos desta indústria, para fabricação desses produtos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Análise Química e Mineralógica

Na Tabela 3 pode-se verificar que o principal componente do resíduo é o cálcio, sendo encontrado naturalmente como carbonato de cálcio (calcita), confirmado no DRX apresentado na Figura 27. O segundo principal componente é o magnésio, encontrado como carbonato de magnésio (dolomita). Esses resultados são compatíveis aos encontrados na literatura (VARELA, PETTER e WOTRUBA, 2006).

A similaridade na composição dos resíduos, nos seis pontos de coleta, possibilitou a mistura dos mesmos em único material, realizou-se uma pilha e homogeneização para produção dos compósitos.

#### 4.1.1. Análise Química

A análise química (Tabela 4) indicou que o principal elemento do resíduo é o cálcio (48,85%, valor médio), sendo encontrado como calcita, confirmado sua predominância no DRX da Figura 2.

Tabela 4 Análise química das diferentes amostras do resíduo de mármore (< 0,037 mm).

Elementos	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
	Bege Bahia	Bege Bahia	Cava 1	Cava 1	Travertino	Travertino
<b>SiO<sub>2</sub></b>	5,10	5,30	4,20	4,40	5,90	5,90
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,40	0,40	0,46	0,51	0,51	0,51
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,22	0,21	0,28	0,22	0,24	0,89
<b>CaO</b>	50,20	49,50	50,70	48,20	47,40	47,10
<b>MgO</b>	4,60	4,90	2,40	2,70	5,60	4,70

#### 4.1.2. Análise Mineralógica

Os teores médios de sílica (5,13%) e óxidos de ferro (0,34%) são baixos, sendo observados na forma de quartzo e associado à dolomita, respectivamente, como indica a Figura 27. Tais características enquadram o resíduo como uma potencial carga mineral, pois esse dois elementos, que geralmente oneram o beneficiamento dos resíduos, estão em concentrações baixas.

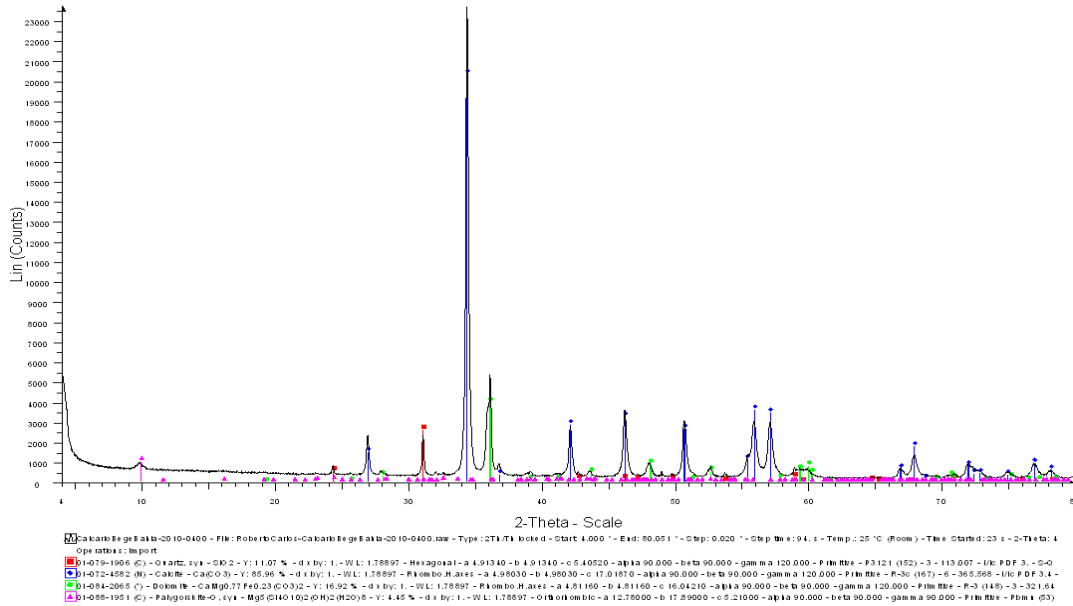


Figura 27: Difratoograma de raios-x da amostra de resíduo.

#### 4.2. Processamento do Compósito de Polipropileno e Calcários

A Figura 28 apresenta os perfis de fita obtidos no processamento dos compósitos por extrusão, onde se verificou que foi possível a realização do processamento com até 50%, em massa, de resíduo de calcário Bege Bahia.

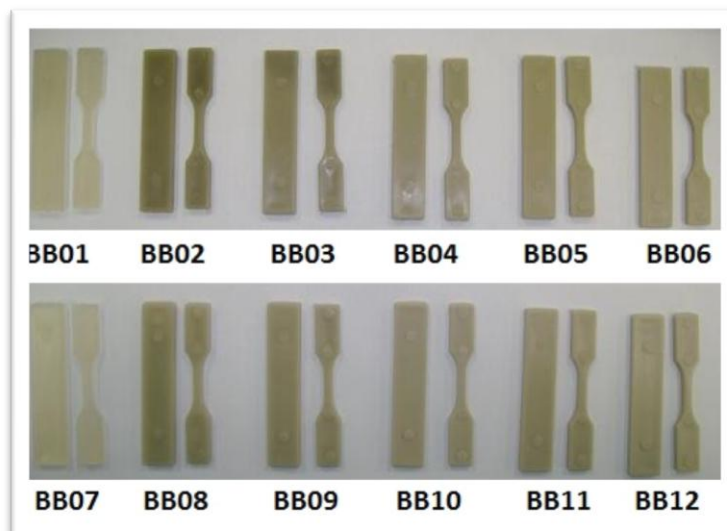


Figura 28. Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduo de mármore Bege Bahia.

### 4.3. Ensaios de Caracterização dos Compósitos

#### 4.3.1. Determinação da Densidade

Na Figura 29 estão apresentados os resultados de densidade dos compósitos em estudo. Os valores de densidade determinados tanto para o PP HY6100 (BB01 e BB07) puro quanto para o PP SM6100 puro (BB13 e BB019) foi em torno de 0,9 g/mL, compatível a literatura. Observou-se também que após a adição de 20% em massa de resíduo Bege Bahia houve um aumento considerável na densidade, chegando-se a valores em torno de 1,2 g/mL, indicando o efeito da carga mineral na matriz polimérica.

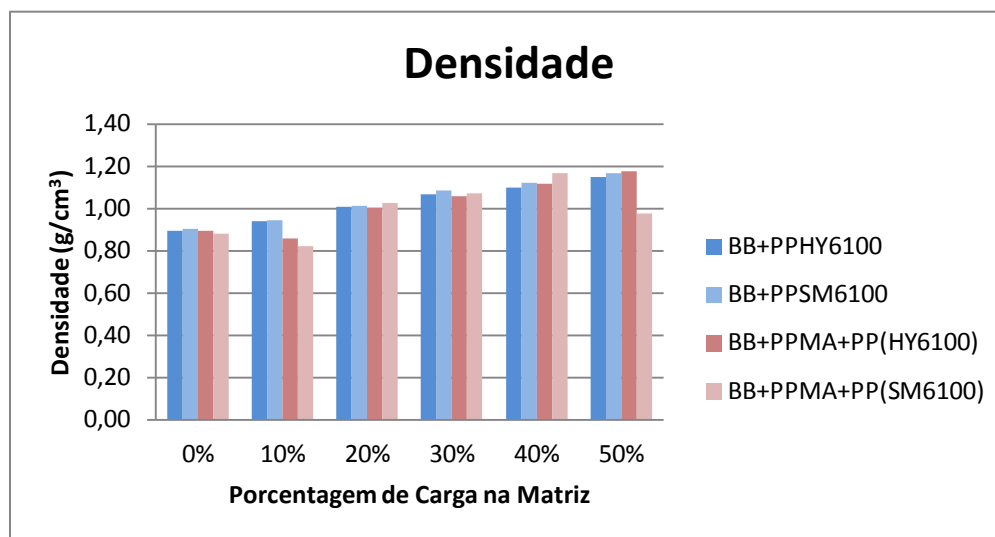


Figura 29. Densidade dos Compósitos.

#### 4.3.2. Tamanho Médio ( $\bar{x}$ ) Fração Volumétrica ( $v_p$ ) das Partículas

Os resultados desse estudo estão mostrados na tabela 4.

Tabela 5. Tamanho médio e fração volumétrica das partículas para cada amostra.

Matriz	Amostra	Carga	$\bar{x}$ ( $\mu\text{m}$ )	$v_p$ (%)
PP HY6100	BB02	10%	2.45	4.95
	BB03	20%	3.07	7.25
	BB04	30%	4.15	14.7
	BB05	40%	2.95	13.8
	BB06	50%	4.76	14.7
PPSM6100	BB14	10%	3.05	3.2
	BB15	20%	3.22	10.5
	BB16	30%	6.04	13.3
	BB17	40%	6.04	19.9
	BB18	50%	5.18	26.8

Primeiramente, ao avaliar-se tamanho médio das partículas , sejam aquelas dispersas na matriz PP HY ou na PP SM, pode-se observar que há um aumento no  $\bar{x}$  com o aumento percentual de carga mineral até 30% de carga.

Essa informação numérica aliada à análise das imagens pode indicar a dificuldade de dispersão da carga sobre a matriz assumindo, dessa forma a possibilidade de aglomeração de partículas, prejudicial às propriedades do material.

As frações volumétricas são crescentes para todo o aumento de carga. Este crescimento é acentuado na matriz de PP SM6100.

A Figura 30 mostra os aspectos visuais da superfície dos compósitos.

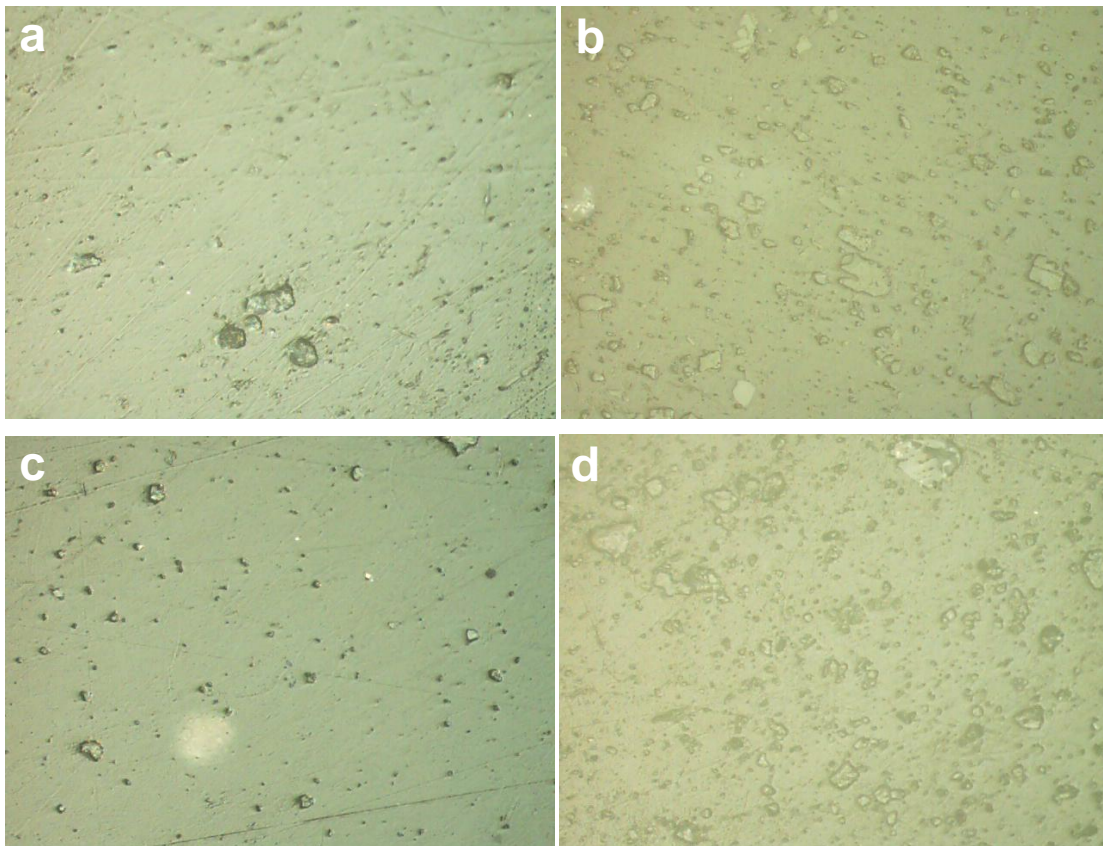


Figura 30. Imagem do microscópio ótico com aumento de 2000x de (a)BB02, (b)BB06 (c)BB14 e (d)BB18

### 4.3.3. Comportamento Mecânico

#### 4.3.3.1. Tração

As Figuras 31, 32 e 33 apresentam o crescimento da tensão de escoamento (na força máxima realizada), deformação específica de ruptura e o módulo elástico,

respectivamente, em relação ao aumento da incorporação do resíduo na matriz do PP. Esses módulos são resultado do mesmo ensaio.

Na Tabela 6 estão destacados os valores médios das tensões e seus respectivos desvios padrões. Estes valores estão ilustrados pelo histograma da Figura 31 verifica-se a tensão de escoamento dos compósitos gerados. A tensão de escoamento é a tensão máxima que o material suporta ainda no regime elástico de deformação. Dessa forma, verifica-se que o aumento do percentual de carga mineral na matriz polimérica é capaz de diminuir a tensão de escoamento, indicando que a presença dessa carga é responsável em fazer com que os compósitos suportem menos tensão, como se observa nos compósitos BB02 à BB06 e BB14 à BB18 (compósitos sem PP-MA), onde a tensão diminui de 32 MPa para 26 MPa, aproximadamente. No entanto, quando se verificam os valores de tensão dos compósitos que apresentam o compatibilizante PP-MA (BB08 a BB12 e BB20 a BB24) observa-se que o aumento de carga mineral não é capaz de diminuir essa tensão indicando a boa atuação do compatibilizante entre a carga mineral e o polímero, para ambas as matrizes (PP HY6100 e PP SM6100).

Tabela 6. Tensão de Escoamento dos Compósitos de Bege Bahia.

	<b>Carga</b>	<b>Amostra</b>	<b><math>\sigma</math> (Mpa)</b>	<b>s</b>		<b>Carga</b>	<b>Amostra</b>	<b><math>\sigma</math> (Mpa)</b>	<b>s</b>
<b>PP HY 6100</b>	0%	BB001	32.61	0.35	<b>PP SM 6100</b>	0%	BB013	32.20	1.40
	10%	BB002	32.10	1.17		10%	BB014	31.53	2.02
	20%	BB003	30.48	0.4		20%	BB015	30.15	1.93
	30%	BB004	29.76	0.23		30%	BB016	29.46	1.80
	40%	BB005	27.98	0.13		40%	BB017	27.77	2.05
	50%	BB006	28.05	0.3		50%	BB018	27.50	1.97
	0%	BB007	31.91	0.34		0%	BB019	31.06	2.29
	10%	BB008	32.26	0.23		10%	BB020	31.61	2.02
	20%	BB009	31.94	0.26		20%	BB021	33.08	1.48
	30%	BB010	32.46	0.25		30%	BB022	32.42	0.98
	40%	BB011	32.75	0.26		40%	BB023	31.23	0.80
	50%	BB012	32.51	0.11		50%	BB024	31.18	0.86

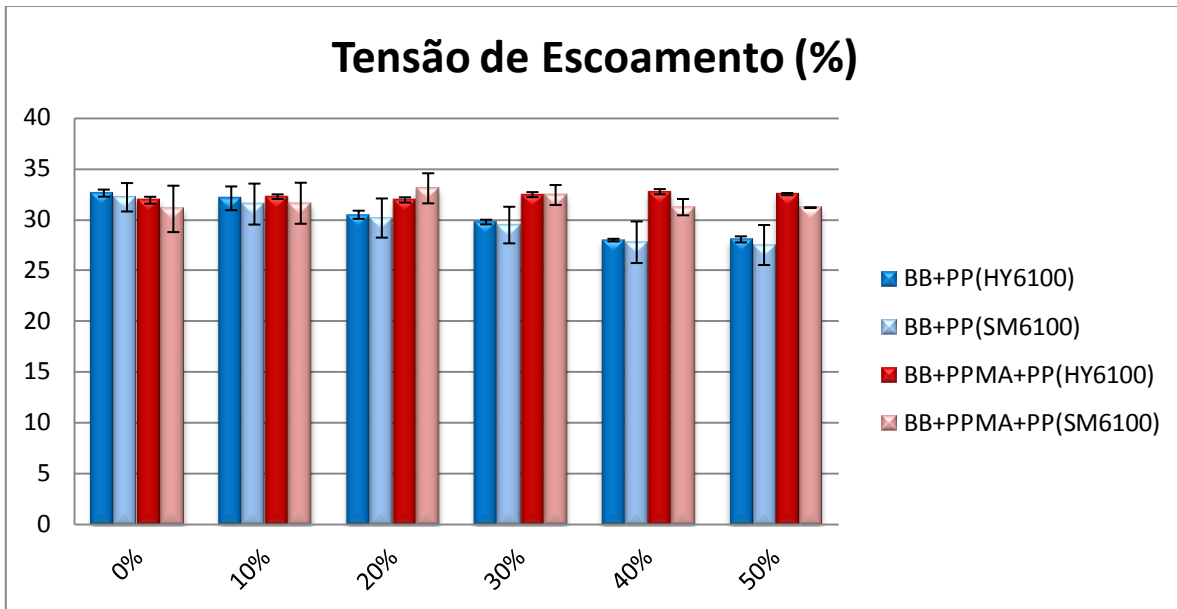


Figura 31. Tensão de Escoamento dos diferentes compósitos.

Na Figura 32 estão ilustrados os valores contidos na Tabela 7. Observa-se que a deformação específica na ruptura do polipropileno isento de carga mineral é alta, chegando-se a valores em torno de 400% para o BB07 e BB13 (PP HY e SM puros, BB07 sem e BB13 com PP-MA), verificando-se, para este caso, pouca vantagem no uso do compatibilizante. Verifica-se também que a adição do resíduo é responsável pela estabilização mecânica do material, uma vez que a deformação específica diminui gradativamente, chegando-se a valores em torno de 10% para os compósitos que apresentavam 50%, em massa de resíduo (BB06, BB12, BB18 e BB24).

A diferença mais relevante é quando comparamos as matrizes de PP. A partir de 10% de carga, a matriz de PP SM6100, independentemente de conter ou não compatibilizante, diminui a deformação para valores já bastante reduzidos, quando comparado à matriz de PP HY6100. Para este último, os valores só são significativamente reduzidos (abaixo de 50%) a partir de 20% de carga.

Como foi visto, as tensões de escoamento de BB+PP HY podem ser consideradas aproximadamente iguais a BB+PP SM e, BB+PP HY+PP-MA a BB PP SM. Contudo, se as os compósitos de matriz PP HY sofrem maior deformação, para essas tensões, verificamos um melhor comportamento da matriz de PP SM.

Analisando a atuação do compatibilizante PP-MA, pode-se dizer que ele tem maior influência sobre os compósitos de matriz PP HY. Pode ser verificado que os compósitos



contendo 20% da matriz de PP HY (BB009), em massa de resíduo, apresentaram uma diminuição mais significativa na deformação da ruptura, quando comparados aos compósitos com o mesmo percentual de resíduo, porém sem a presença do compatibilizante (BB003). Já, para a matriz PP SM, a diminuição da deformação quando se atinge 20%, tem as mesmas proporções para o BB14 e BB20, aproximadamente

Com relação à inserção de carga, pode-se avaliar de maneira geral que as deformações diminuem em até 112 vezes como as tensões aproximadamente constantes, constatando-se que, quanto maior a carga, melhor a atuação na estabilização mecânica do material.

Tabela 7. Deformação na Ruptura dos Compósitos de Bege Bahia.

	<b>Carga</b>	<b>Amostra</b>	<b><math>\epsilon</math> (%)</b>	<b>s</b>		<b>Carga</b>	<b>Amostra</b>	<b><math>\epsilon</math> (%)</b>	<b>s</b>
	<b>PP HY 6100</b>	0%	BB001	318.42		8.55	<b>PP SM 6100</b>	0%	BB013
10%		BB002	129.29	101.29	10%	BB014		20.37	11.17
20%		BB003	52.99	54.67	20%	BB015		16.46	9.13
30%		BB004	45.63	12.73	30%	BB016		18.97	7.20
40%		BB005	56.67	4.43	40%	BB017		20.64	5.03
50%		BB006	4.09	3.37	50%	BB018		12.48	3.75
0%		BB007	400.44	20.77	0%	BB019		369.95	41.91
10%		BB008	294.7	31.81	10%	BB020		10.22	3.03
20%		BB009	7.68	2.56	20%	BB021		10.27	3.20
30%		BB010	7.95	0.55	30%	BB022		9.84	0.79
40%		BB011	7.89	0.82	40%	BB023		7.24	0.86
50%		BB012	3.58	0.88	50%	BB024		6.63	2.53

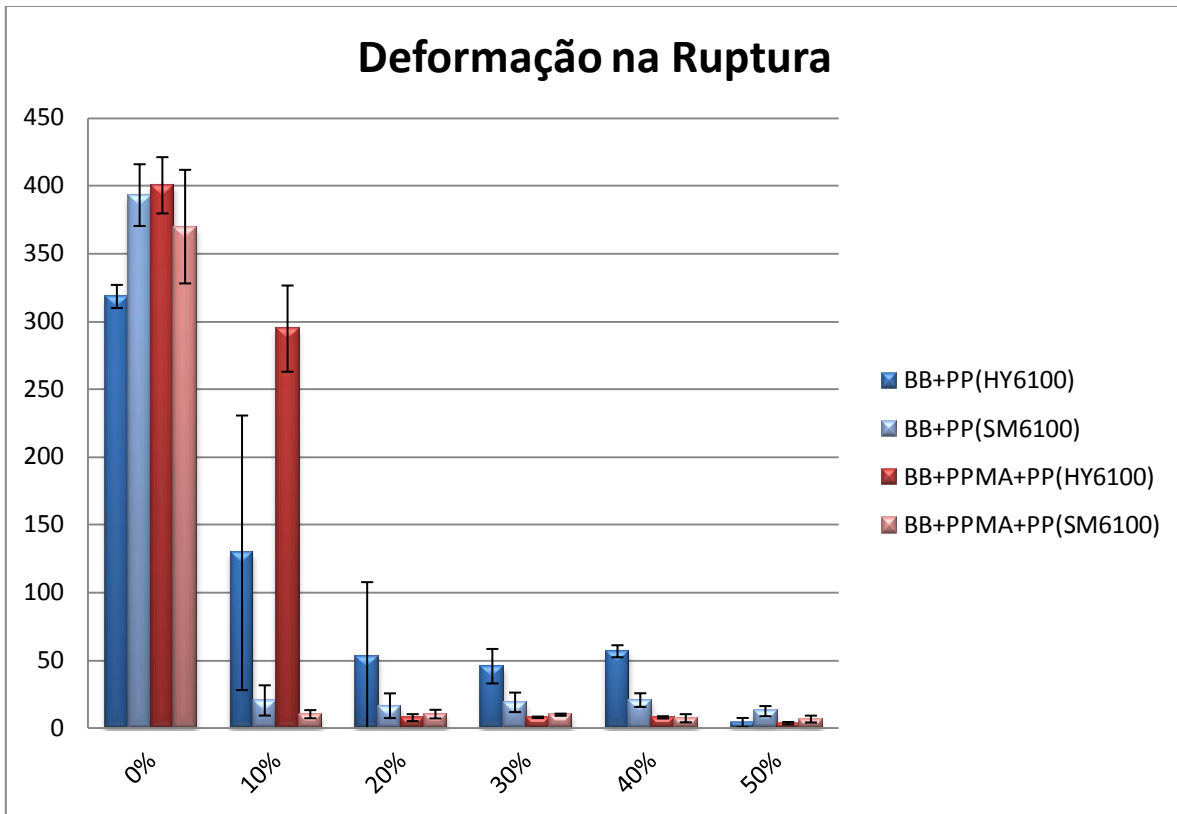


Figura 32. Deformação Específica de Ruptura dos diferentes compósitos

Na Tabela 8 e na Figura 33 verifica-se o módulo de elasticidade dos compósitos. O módulo de Young ou módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido.

Em relação à matriz de PP HY, verifica-se que os materiais de polipropileno isentos de carga mineral (BB001 e BB007) apresentam os menores valores de módulo de elasticidade, em torno de 800MPa, e que a adição de carga é capaz de aumentar esse valor para 1300MPa para todos os compósitos, indicando o aumento de rigidez na tração do material sólido. Avalia-se também que o compatibilizante não influenciou no módulo.

Porém, quando avalia-se os compósitos de matriz de PP SM, a adição de cargas reduz consideravelmente o módulo, em relação ao PP SM6100 puro, para valores em até 8 vezes menores que os compósitos de matriz PP HY. Além disso, o PP-MA reduziu ainda mais os valores do módulo para este tipo de matriz.

Tabela 8. Módulo de Elasticidade dos Compósitos de Bege Bahia.

	Carga	Amostra	E (MPa)	s		Carga	Amostra	E (Mpa)	s
	PP HY 6100	0%	BB001	799.83		5.41	PP SM 6100	0%	BB013
10%		BB002	928.08	11.66	10%	BB014		1186.42	54.62
20%		BB003	982.64	20.53	20%	BB015		1296.97	14.11
30%		BB004	1213.00	6.01	30%	BB016		1469.41	41.23
40%		BB005	1317.50	7.77	40%	BB017		1595.16	23.94
50%		BB006	1422.11	19.08	50%	BB018		1765.56	19.42
0%		BB007	760.85	28.12	0%	BB019		970.47	25.92
10%		BB008	933.74	6.70	10%	BB020		1067.56	16.45
20%		BB009	1077.02	16.05	20%	BB021		1255.42	22.36
30%		BB010	1181.96	30.95	30%	BB022		1418.43	26.68
40%		BB011	1601.12	91.56	40%	BB023		1444.49	63.53
50%		BB012	1991.11	22.77	50%	BB024		1433.31	28.42

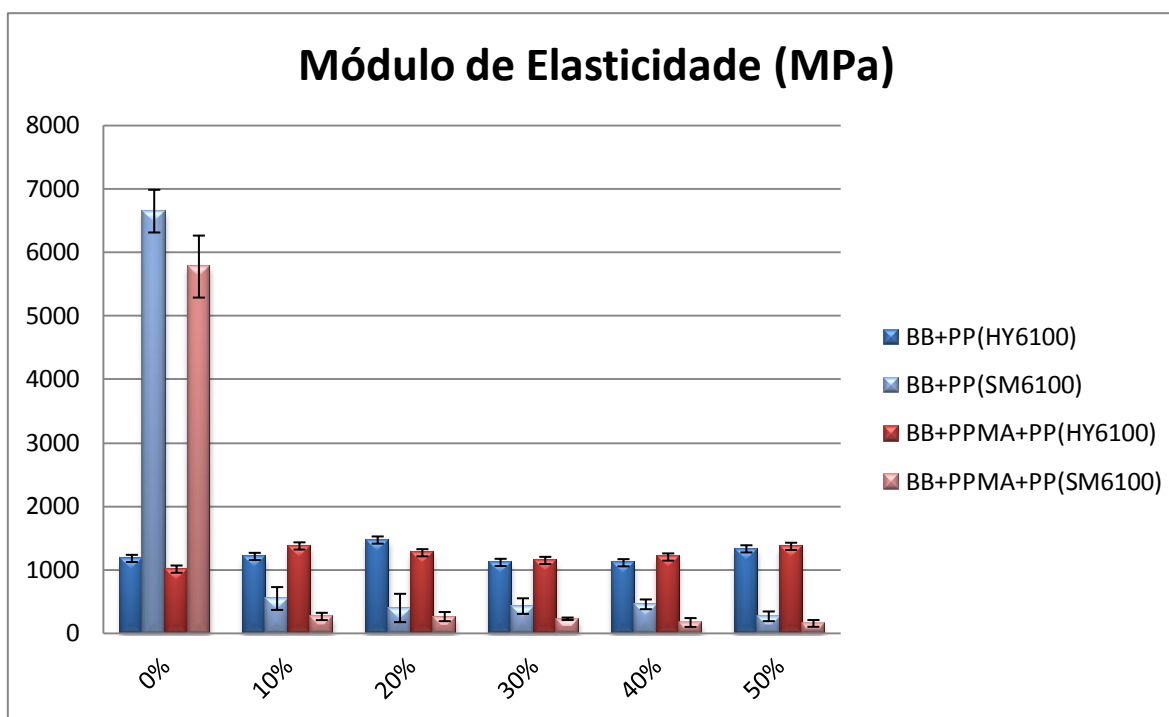


Figura 33. Módulo Elástico na Tração dos diferentes compósitos

#### 4.3.3.2. Flexão

Observa-se na Tabela 9 e na Figura 34 que o módulo aumenta com a incorporação do resíduo de mármore Bege Bahia, de modo geral.

Para os compósitos de matriz PP HY, o PP-MA atua de forma benéfica, ao contrário dos compósitos de matriz PP SM.

Com a incorporação da carga mineral, os melhores valores são para os compósitos de matriz PP SM, até 30% de carga. Para 40% de carga, BB+PP SM e BB+PP-MA+PP HY possuem valores de aproximadamente 1600 Mpa. Com 50% de carga, o compósito de matriz PP HY supera o valor da matriz PP SM fazendo, contudo, uso do compatibilizante.

Tabela 9. Módulo de Elasticidade na Flexão dos Compósitos de Bege Bahia.

	Carga	Amostra	E (MPa)	s		Carga	Amostra	E (Mpa)	s
	PP HY 6100	0%	BB001	1179.44		241.59	PP SM 6100	0%	BB013
10%		BB002	1210.75	246.75	10%	BB014		548.27	179.74
20%		BB003	1468.68	453.37	20%	BB015		399.01	223.19
30%		BB004	1116.78	266.68	30%	BB016		428.67	122.67
40%		BB005	1111.26	222.62	40%	BB017		456.52	76.88
50%		BB006	1330.12	273.84	50%	BB018		267.73	76.70
0%		BB007	1011.06	182.46	0%	BB019		5776.32	488.42
10%		BB008	1376.18	466.36	10%	BB020		265.12	57.81
20%		BB009	1268.69	482.66	20%	BB021		263.27	72.00
30%		BB010	1147.69	390.89	30%	BB022		229.11	19.18
40%		BB011	1201.81	306.99	40%	BB023		170.65	69.20
50%		BB012	1369.60	311.60	50%	BB024		156.00	53.66

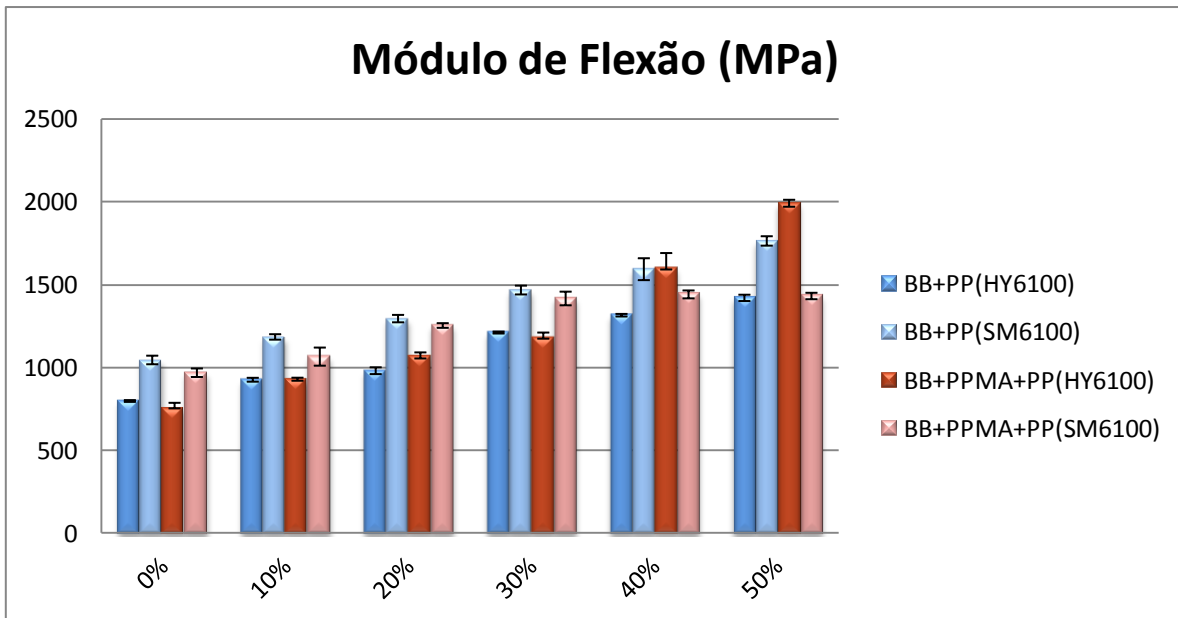


Figura 34: Módulo Elástico de Flexão dos diferentes compósitos

### 4.3.3.3. Resistência ao Impacto Izod a 23 °C

Os resultados de resistência ao Impacto Izod a 23 °C obtidos para os compósitos de PP com resíduos em todos os teores da Tabela 10 são indicados pela Figura 35.

Determinou-se que a aplicação de resíduo de mármore na matriz de polipropileno proporciona uma diminuição na resistência ao impacto. Esta diminuição é menos notável nos compósitos de matriz de PP SM.

Percebe-se uma tendência para os compósitos de matriz PPSM6100: com a adição de carga, os compósitos tendem a um valor de 20J/m, e os compósitos com compatibilizante se aproximam a 23 J/m.

Tabela 10. Resistência ao Impacto dos Compósitos de Bege Bahia.

	Carga	Amostra	E (J/m)	s		Carga	Amostra	E (J/m)	s
	<b>PP HY 6100</b>	0%	BB001	35.17		2.23	<b>PP SM 6100</b>	0%	BB013
10%		BB002	29.95	2.35	10%	BB014		23.29	1.14
20%		BB003	26.84	2.86	20%	BB015		19.84	1.67
30%		BB004	23.53	2.25	30%	BB016		19.78	1.44
40%		BB005	21.80	3.20	40%	BB017		20.46	1.45
50%		BB006	20.05	1.73	50%	BB018		21.04	0.16
0%		BB007	34.13	3.28	0%	BB019		27.64	3.09
10%		BB008	26.64	2.82	10%	BB020		22.69	2.50
20%		BB009	25.77	1.54	20%	BB021		22.82	1.72
30%		BB010	24.31	0.21	30%	BB022		21.44	3.05
40%		BB011	23.92	1.06	40%	BB023		24.01	0.14
50%		BB012	24.10	1.09	50%	BB024		22.76	1.48

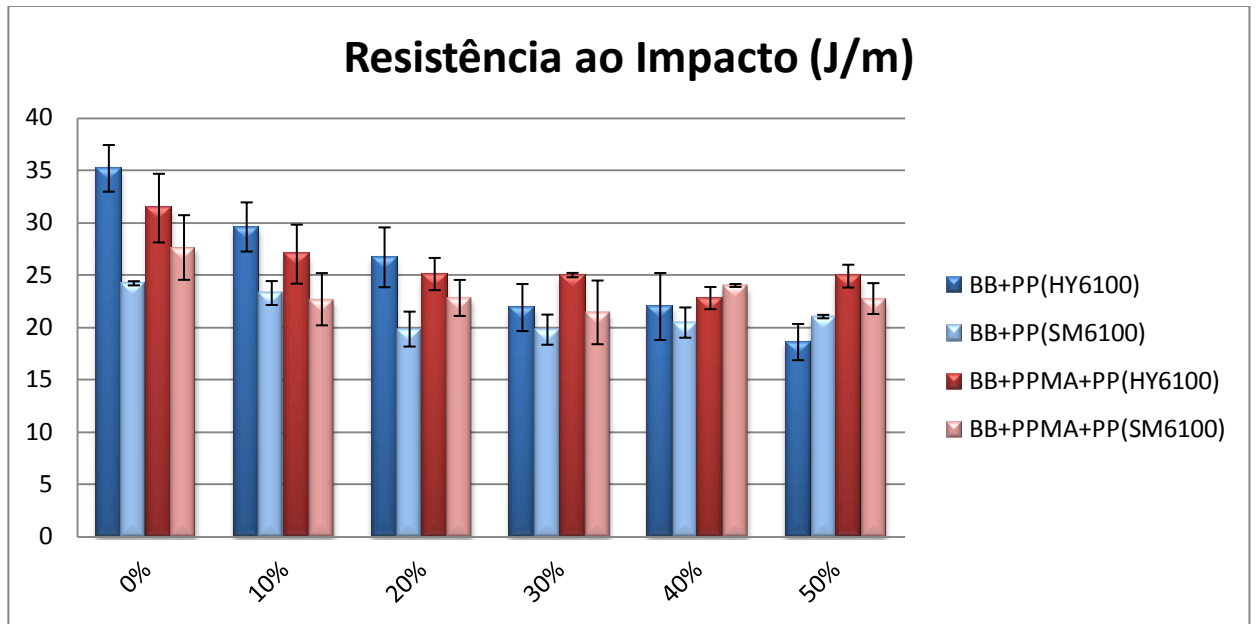


Figura 35: Resultados de resistência ao impacto Izod dos diferentes compósitos.

#### 4.3.4. Ensaio de Alterabilidade

Após a exposição dos compósitos às câmaras de Névoa Salina e  $\text{SO}_2$ , não houve alteração visivelmente significativa. Também não houve alteração significativa nas propriedades mecânicas.

#### 4.3.5. MEV na Superfície do Impacto

A Figura 36 compara as superfícies de impacto para os compósitos de 0 e 50% de carga, na matriz de PP HY 6100.

Em (a) observa-se as poucas partículas sobre a superfície de impacto, já em (b) observa-se sua quantidade numerosa e dispersão que, aparentemente, se dá de maneira uniforme sobre a superfície.

Além disso na superfície de (a), é possível ver a direção da fratura, devido uma superfície mais lisa, ao contrário de (b) que apresenta superfície mais rugosa.

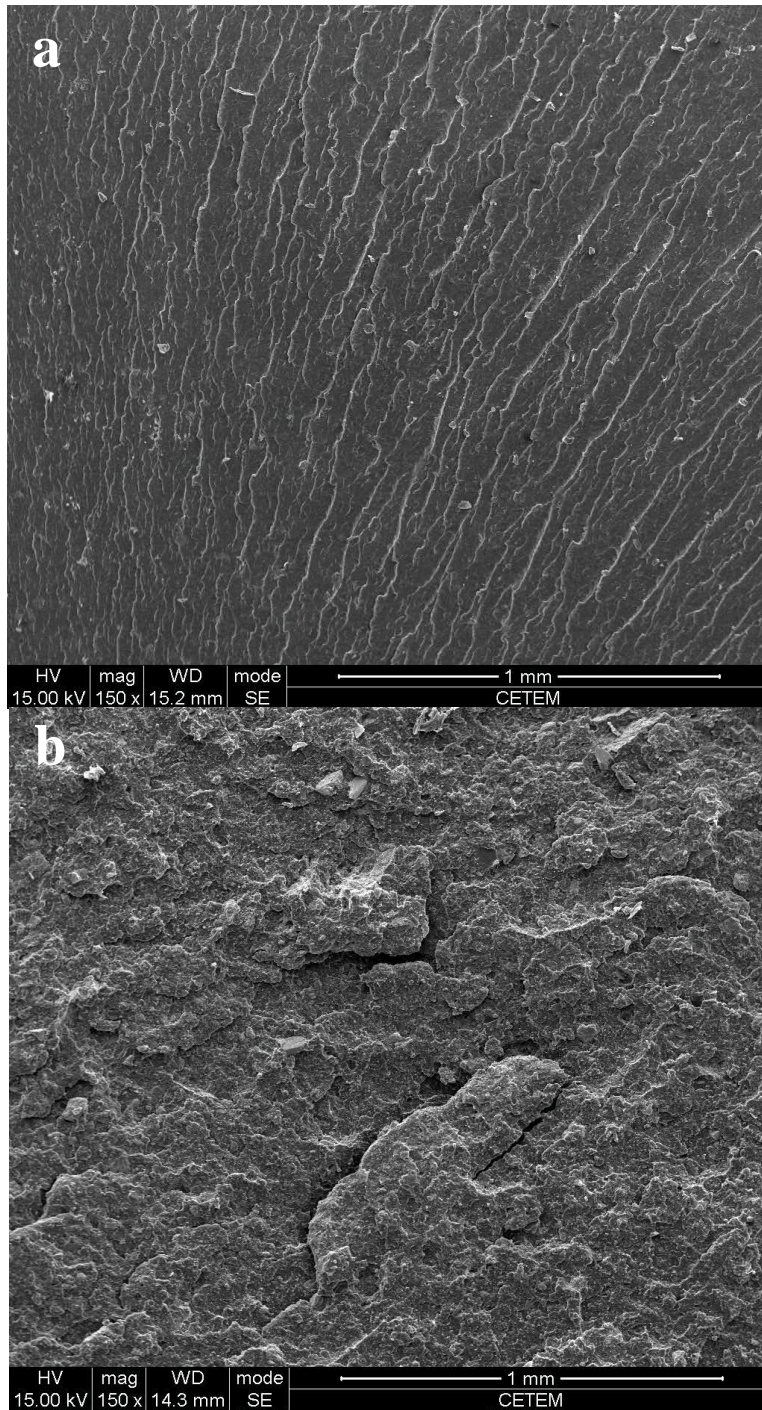


Figura 36. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB01 e (b)BB06

Na Figura 37 estão destacadas a superfície de impacto de dois compósitos de mesma carga (30%) e de mesma matriz, tendo (b) o compatibilizante em sua composição. Nota-se que o compatibilizante afeta o comportamento de fratura do material, devido a diferença nas topografias, sendo (a) mais rugosa que (b).

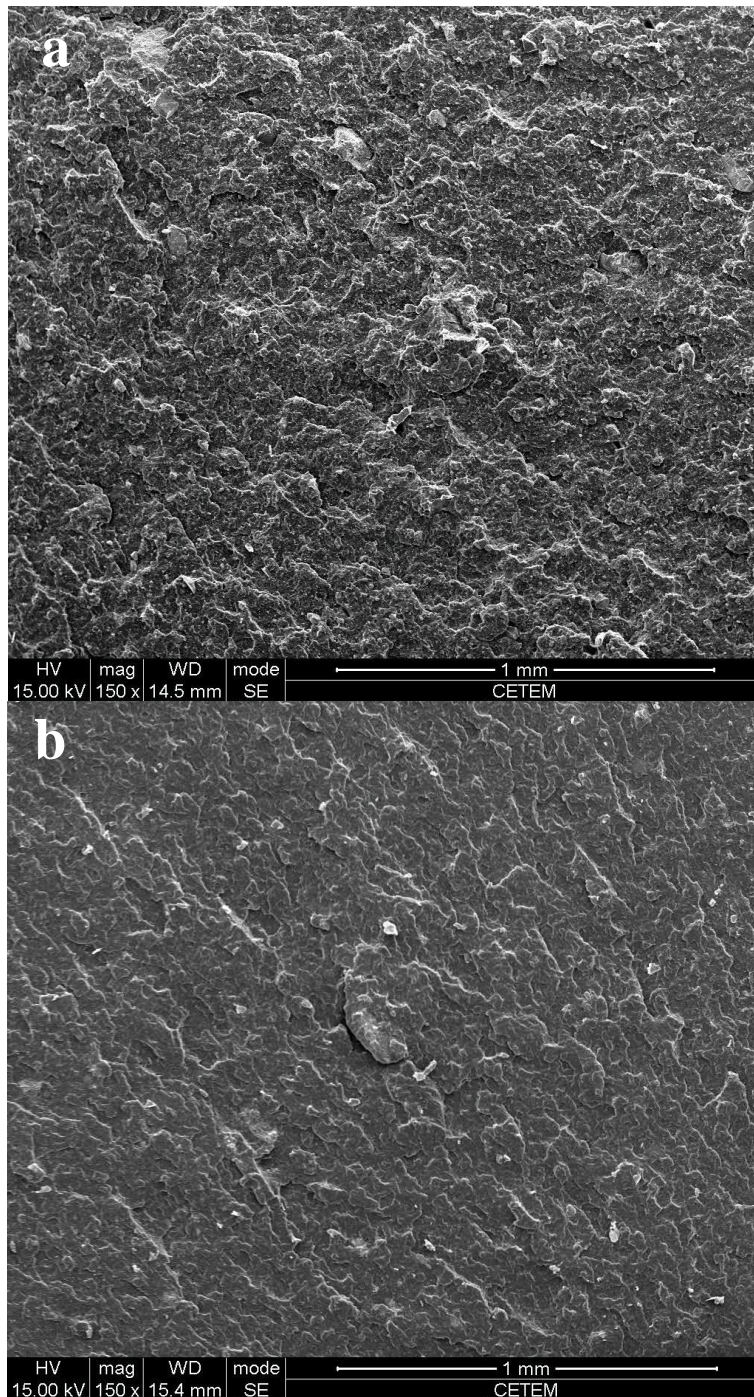


Figura 37. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB04 e (b)BB10



Comparando as diferentes matrizes da figura 38, em que os compósitos estão insetos de carga, nota-se que, apesar de serem nítidas as direções do cisalhamento, as frentes de trinca são maiores em (b) (matriz PPSM).

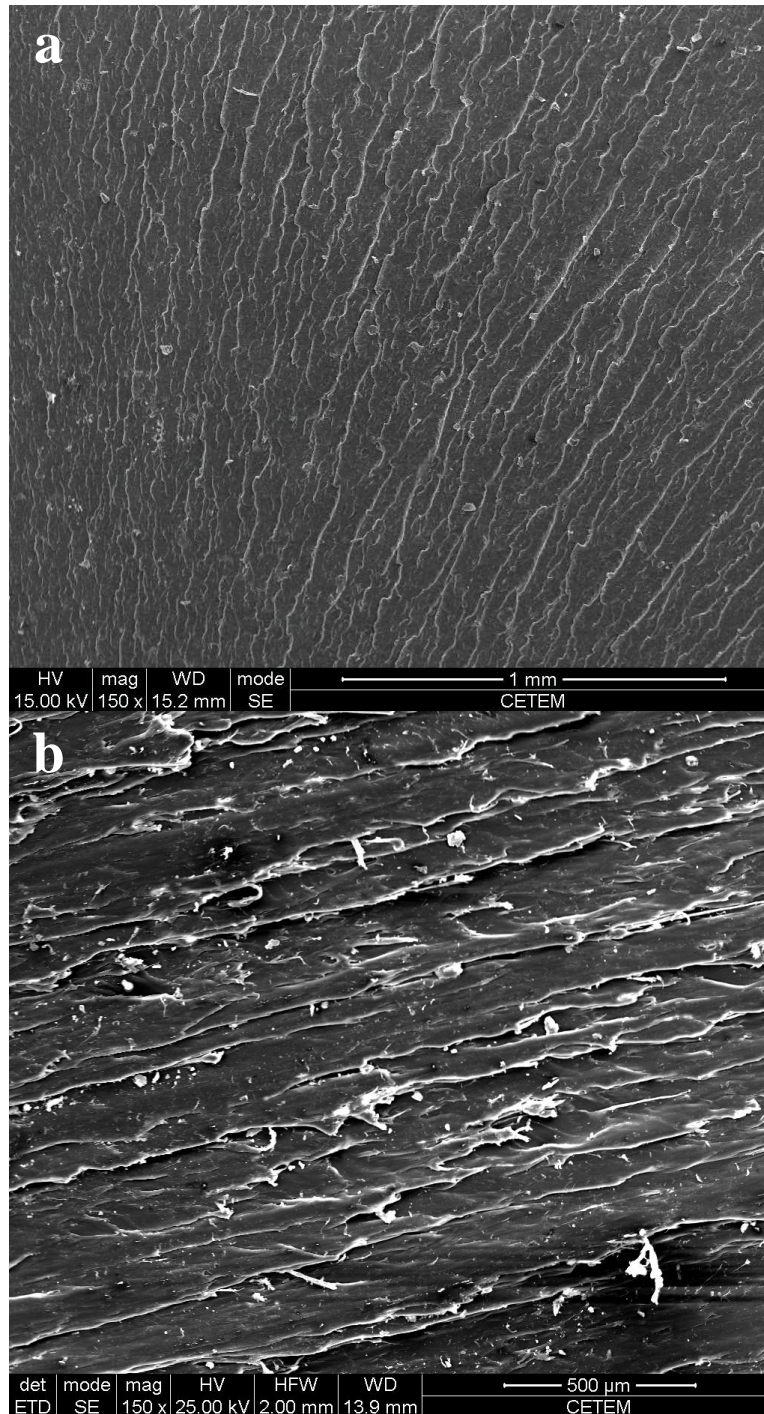


Figura 38. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB01 e (b)BB13

Apesar dos aumentos diferentes, é nítida a distinção entre as superfícies na Figura 39. (a) e (b) são os polímeros PP HY e SM, respectivamente, com 50% de carga. A superfície de (a) apresenta uma fratura mais dúctil que (b).

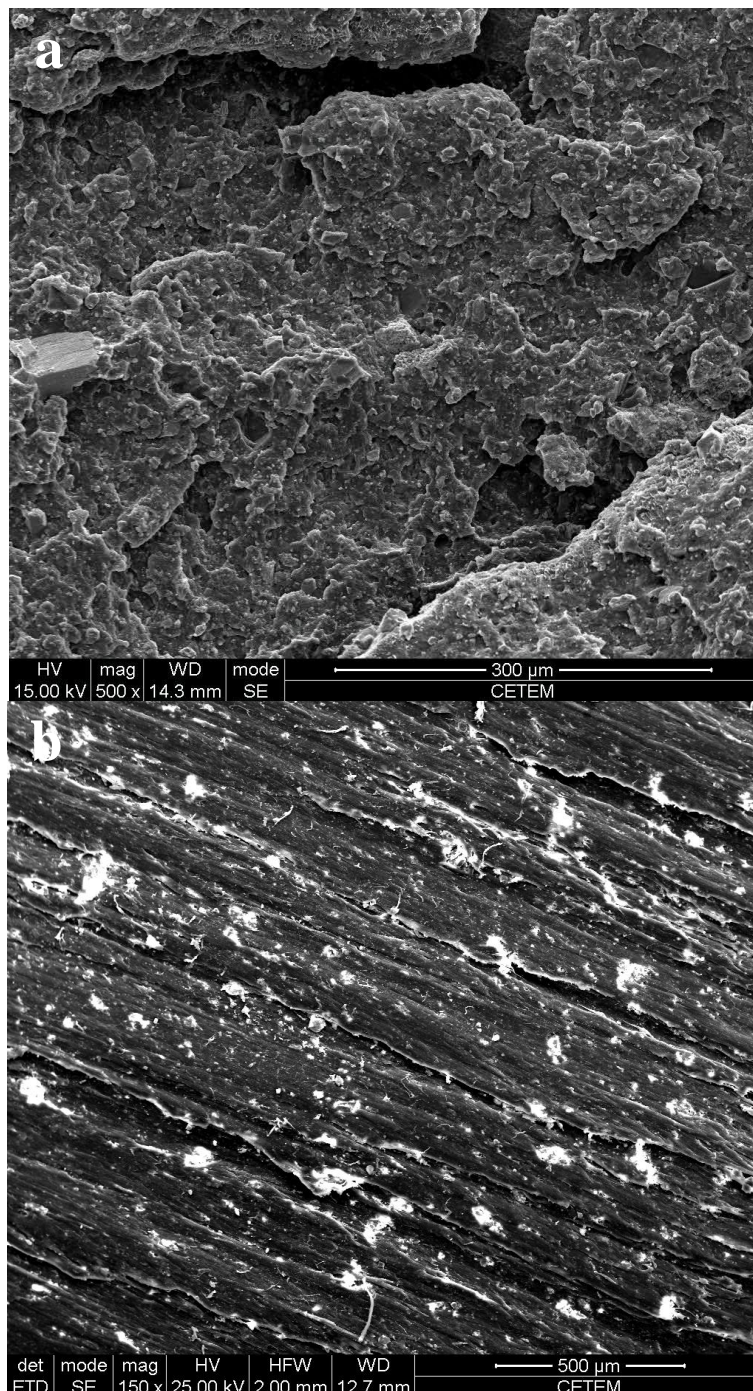


Figura 39. MEV na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB06 com aumento de 500x e (b)BB18 com aumento de 150x

A pouca influência do compatibilizante fica clara na Figura 40 que mostra as superfícies com 40% de carga: (a) sem e (b) com PP-MA.

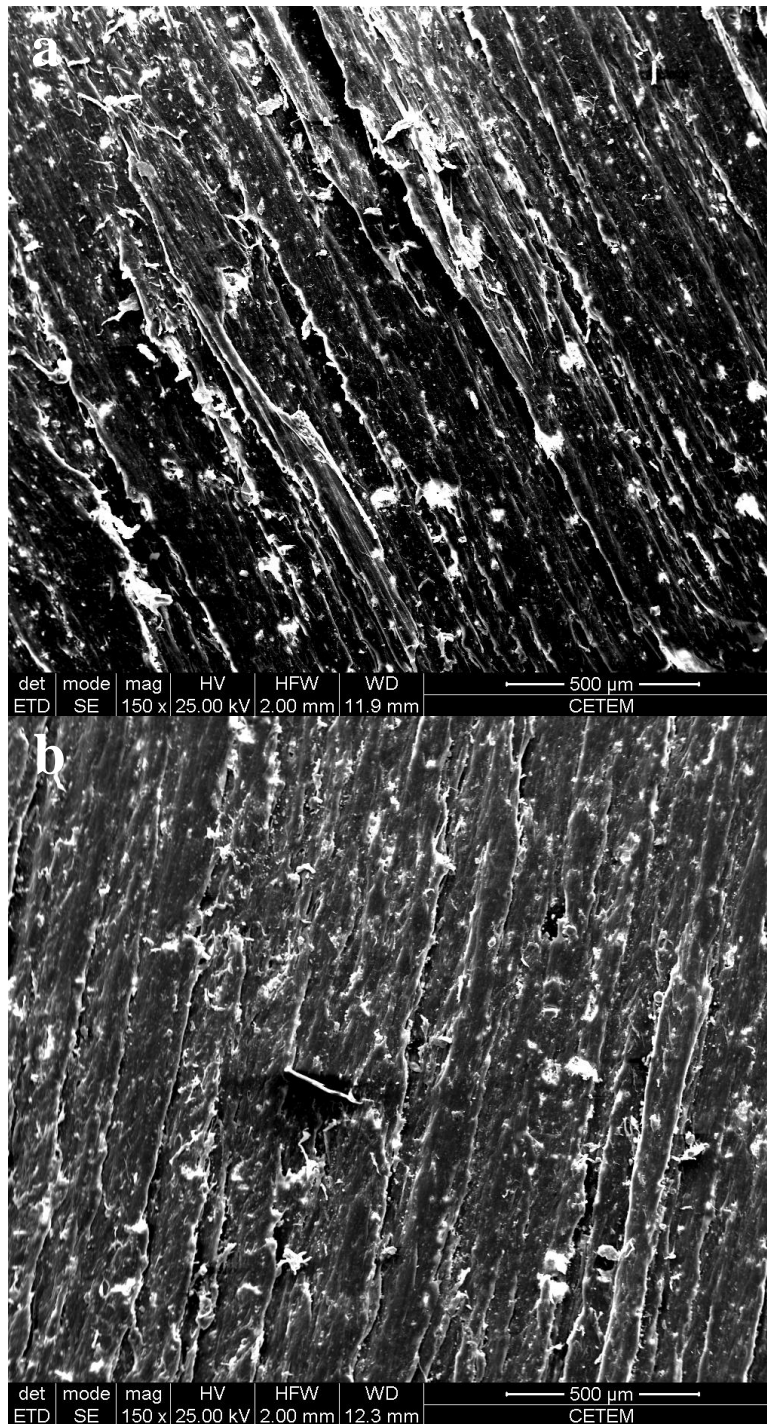


Figura 40. MEV 150x na zona de impacto dos corpos de prova (a)BB17 e (b)BB23

#### 4.4. Demais Estudos: Novos Compósitos

Para cada resíduo, cada uma dessas composições está ligada diferentemente a uma estrutura, cada qual com suas características mecânicas e de adesão à matriz de polipropileno.

##### 4.4.1. Processamento

Os perfis de fita obtidos para os compósitos de CC, RB e RC estão representados na Figura 41.

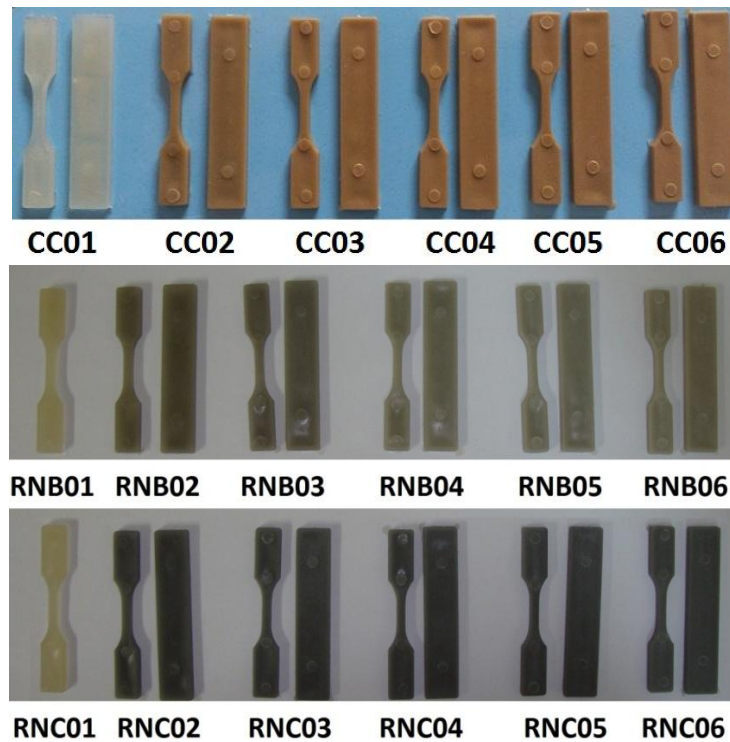


Figura 41. Corpos de prova ordenados segundo sua composição (%) de resíduos.

##### 4.4.2. Comportamento Mecânico

- Tração

Foram novamente analisadas a tensão na força máxima (Figura 42), a deformação na ruptura (Figura 43) e o módulo elástico na tração (Figura 44)

De acordo com a Figura 42, a atenuação da tensão é constante para o BB. Para os outros compósitos, ela aumenta a 10% de carga, para depois diminuir. A 50%, máximo de carga,

o RB sofre maior atenuação e o CC menor. Isto quer dizer que para qualquer adição de carga os compósitos de calcário do cariri são mais resistentes ao escoamento.

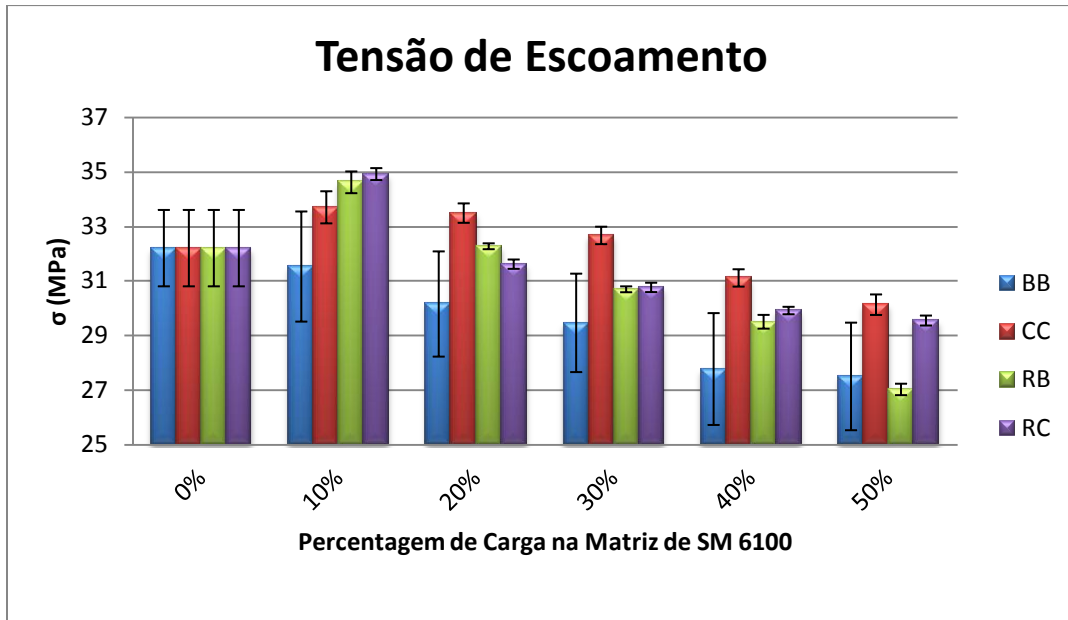


Figura 42: Tensão na Força Máxima dos diferentes compósitos

O CC sofre maior deformação para todas as percentagens de carga, como mostra a Figura 43. Os outros compósitos mantêm uma deformação em torno de 15%, mostrando que existe uma maior estabilidade para este aumento de carga.

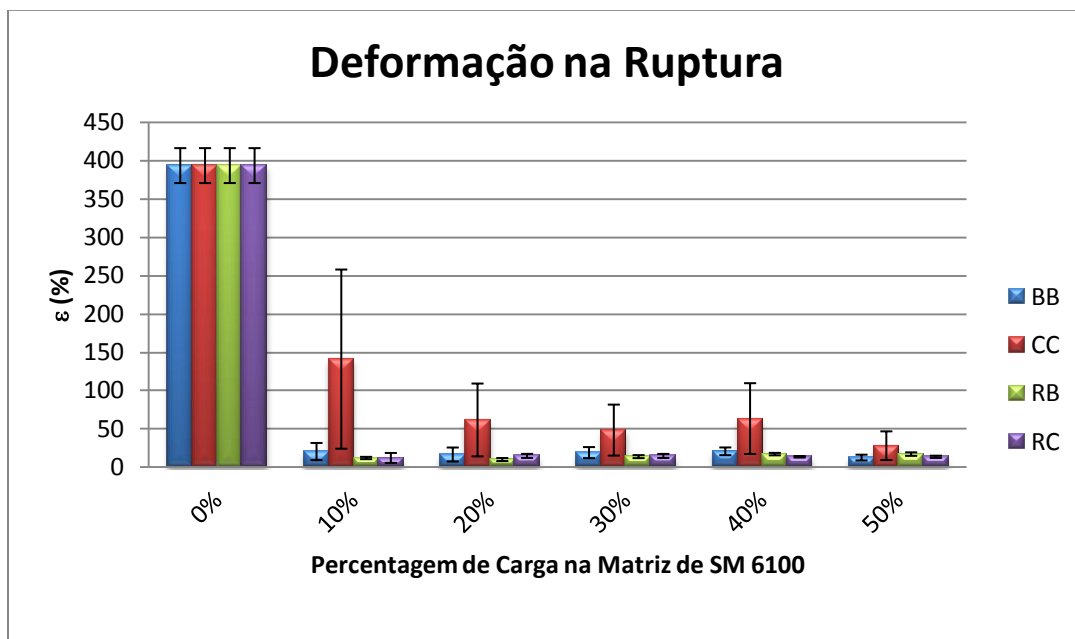


Figura 43. Deformação Específica de Ruptura dos diferentes compósitos

Com relação ao módulo de elasticidade, observa-se na Figura 44 que apesar dos módulos serem reduzidos com a adição de carga, todos eles são estabilizados a partir de 10% para valores abaixo de 1000 MPa. À 50% de carga o CC apresenta maior resistência à tração (660 MPa) e o BB menor (270 MPa).

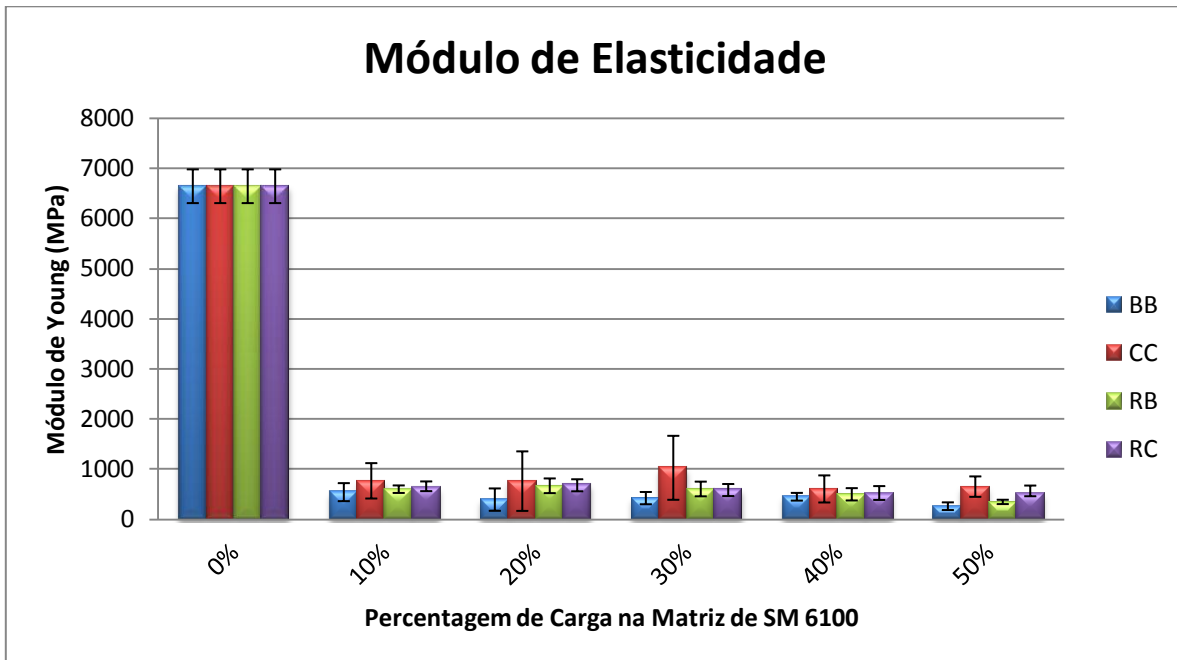


Figura 44. Módulo Elástico na Tração dos diferentes compósitos

- Flexão

A Figura 45 mostra o módulo elástico dos compósitos na flexão.

Os compósitos dos resíduos CC, RB e RC, apresentam módulo de flexão muito superior ao do resíduo de mármore Bege Bahia, mas todos os módulos aumentam com a inserção de carga.

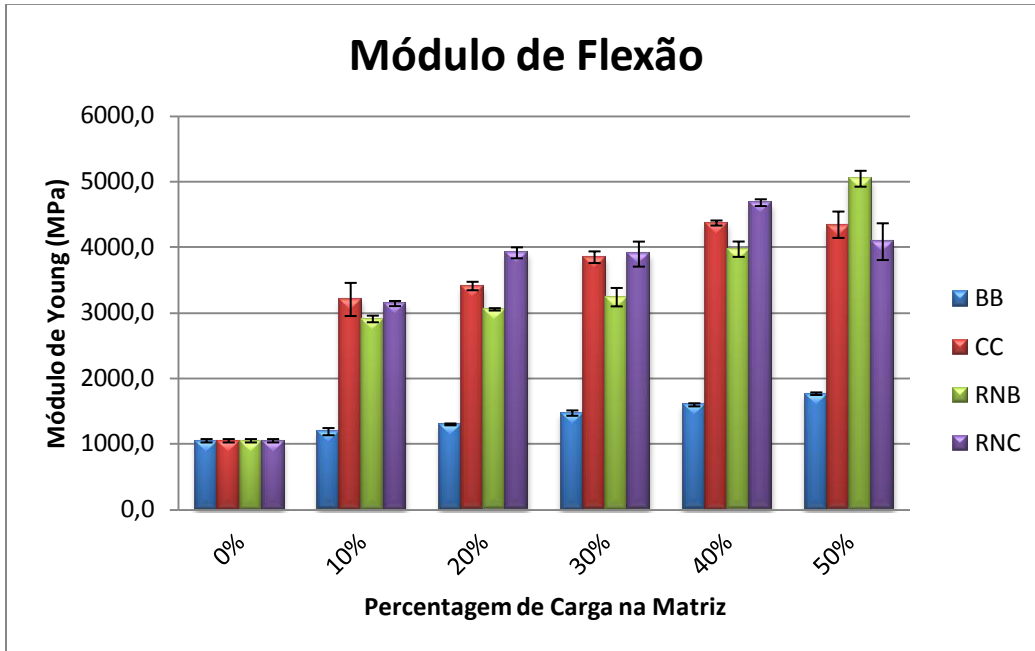


Figura 45. Módulo Elástico de Flexão dos diferentes compósitos

- Impacto

Observa-se na Figura 46 que a resistência ao impacto é diminuída com o aumento de resíduo na matriz de PP SM6100, mas podemos dizer que, a partir de 20% de carga, essa propriedade é estabilizada para um valor de aproximadamente 20J/m.

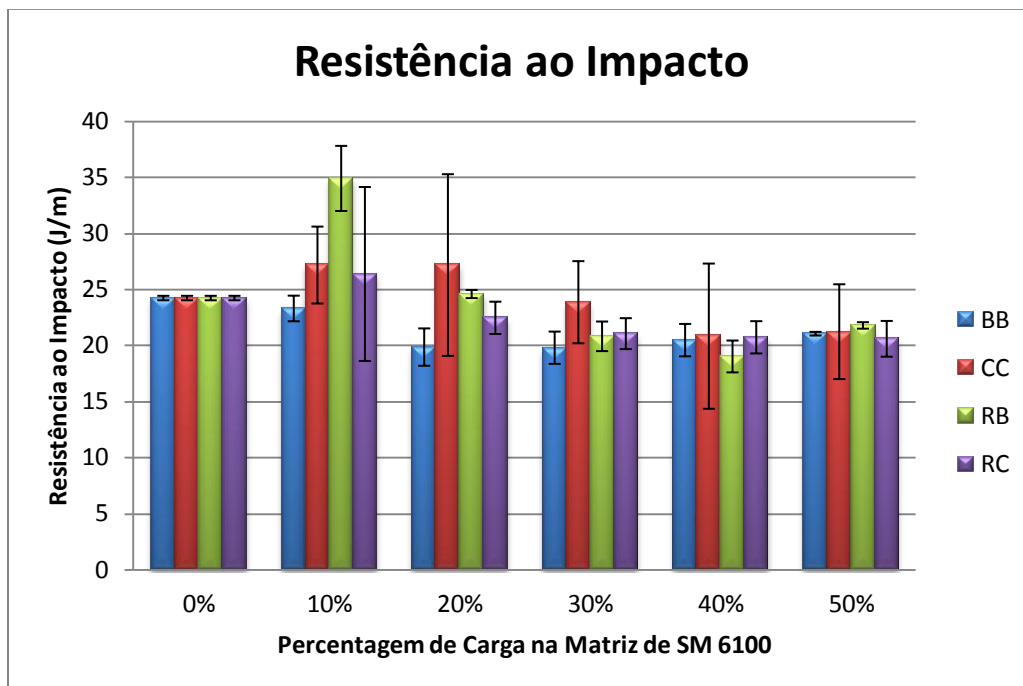


Figura 46. Resultados de resistência ao impacto Izod dos diferentes compósitos.

#### **4.5. Mobiliário Escolar: Seleção dos Compósitos**

Com o objetivo de selecionar os melhores compósitos de mármore Bege Bahia para fabricação de tampos de mesa escolar, após a interpretação dos resultados dos ensaios, chegamos às seguintes reflexões.

##### **4.5.1. Escolha dos compósitos BB**

Apesar de já ter sido estabelecido que o compósito a ser utilizado com objetivo na fabricação do tampo será o BB, pode-se justificar a escolha do mesmo em detrimento à utilização dos demais resíduos.

Em relação ao custo do beneficiamento do resíduo de mármore Bege Bahia, é sabido que toda a extração nas jazidas deste mármore, já é realizada com teares diamantados. Isto elimina a necessidade de utilização de abrasivos, que contaminam os resíduos, onerando seu tratamento e posterior utilização. Assim, o uso desses teares em detrimento aos convencionais reduz o custo de fabricação compósito.

##### **4.5.2. Escolha da Matriz**

A idéia em confeccionar compósitos com diferentes polipropilenos foi calcada no índice de fluidez de cada tipo. O maior índice de fluidez do PP SM6100 confere melhor processamento ao compósito, observado na extrusão.

Além disso, as propriedades mecânicas dos compósitos de BB de matriz de PP SM6100 se apresentaram como equivalentes ou superiores ao de matriz PP HY6100. Adicionalmente, foi constatado também que esta primeira efemeriza o uso de PP-MA e, conseqüentemente, o custo agregado a este compatibilizante.

##### **4.5.3. Escolha do melhor teor de carga**

Sem os estudos de flamabilidade, contando somente com o comportamento no ensaio de flexão dos compósitos de matriz PP SM6100 sem compatibilizante, pode-se concluir que o BB18 é o compósito de mármore bege tem o melhor módulo e, portanto, com o melhor desempenho.

##### **4.5.4. Resultado**

Assim, o compósito BB18, com 50% de carga de mármore Bege Bahia foi o material selecionado para fabricação de tampos de mesa de mobiliário escolar.



## 4.6. Mobiliário Escolar: Próximos Passos

### 4.6.1. Teste de Flamabilidade

Como já foi mencionado, baseando-se nas normas NBR 14006 e NBR 14007, é necessária a avaliação da resistência dos compósitos à propagação da chama.

### 4.6.2. Design dos Tamos de Mesas Escolares

Com base na parceria já existente com a Divisão de Desenho Industrial (DvDI) do INT, o estudo de um design que respeite os requisitos das normas citadas será futuramente realizado.

A Figura 47 mostra exemplos simples de trabalhos já desenvolvidos durante o curso deste estudo.

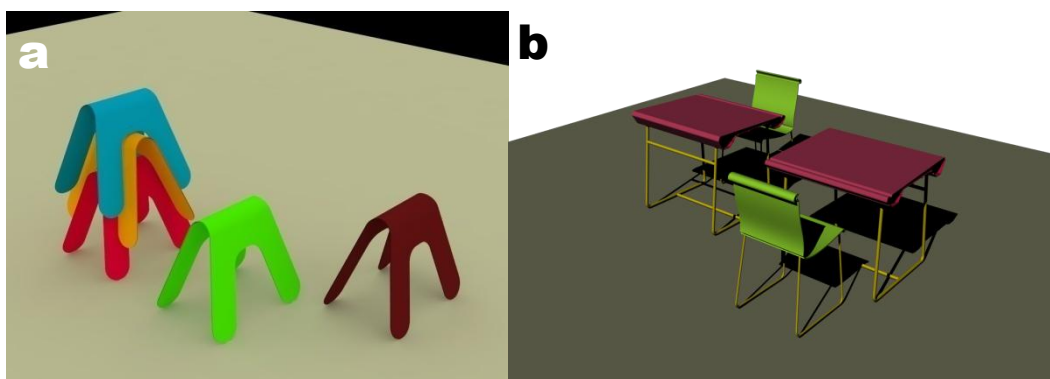


Figura .47: Mobiliário escolar para educação (a) infantil e para os ensinos fundamental, médio e superior(b).

Também foram realizadas confecções de protótipos e a Figura 48 representa um deles.

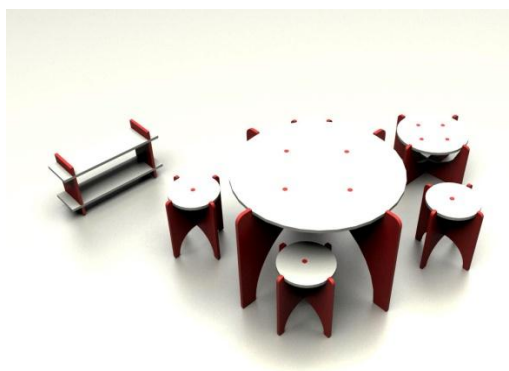


Figura 48. Protótipo de mobiliário escolar infantil, desenvolvido no DvDI.

O confecção desta miniatura consistiu no reprocessamento dos pellets do compósito de Bege Bahia, adicionando juntamente o negro de fumo como medida paliativa para modificar a cor do produto. Em seguida foram obtidas placas pela prensagem deste material.

As placas foram recortadas pela máquina Router CNC em componentes, para serem montados em seguida.

## 5. CONCLUSÃO

São elas:

Os resíduos do mármore Bege Bahia podem ser utilizados como carga mineral na produção de compósitos de polipropileno, chegando-se a 50% em massa, com valores de densidade extremamente baixos e elevada resistência mecânica podendo, dessa forma, reduzir o custo do material e aproveitar o máximo de resíduo possível no compósito, mitigando o impacto ambiental, objetivo principal deste trabalho.

Os compósitos apresentaram pouca alteração após ensaios de alterabilidade de ataque salino e  $\text{SO}_2$

A matriz de PP SM 6100 foi considerada a mais ajustável e, portanto, escolhida para dar prosseguimento aos estudos.

A utilização do PP-MA não foi de grande contribuição para melhora das propriedades dos compósitos de matriz SM 6100. Contudo, estudos com outros compatibilizantes que sejam compatíveis ao polímero escolhido, podem ser realizados.

É necessário aprimorar a técnica de processamento para que a carga mineral se disperse melhor pela matriz, evitando aglomerações das mesmas, melhorando as propriedades dos compósitos.

Sugere-se a aplicação desse material na produção de tampos para mesas escolares.

Os valores tração, flexão e impacto dos compósitos BB, CC, RB e RC adéquam sua utilização para uma série de setores da indústria.

## **6. BENEFÍCIOS GERADOS COM ESTE TRABALHO**

**a.** Depósito do privilégio de invenção: Processo de Formação de Compósitos Poliméricos utilizando como Carga Resíduos gerados na Lavra e no Beneficiamento de Rochas Ornamentais. Protocolo: 020.110.13.33-63.

**b.** Aprovação do projeto: "Aplicação de resíduos do mármore bege no setor polimérico" no edital 44/2011 CT-Mineral do CNPq.

**c.** Transferência tecnológica para empresa automobilística para incorporação do compósito em sua linha de produção.

**d.** Trabalhos gerados a partir deste tema:

- Arruda, C. M. R., Ribeiro, R. C. C. e Vidal, F. W. H., Carrisso, R. C. C e Souza, L. R., Aplicação de resíduos de rochas ornamentais como cargas para o setor polimérico, privilégio de patente Cetem/INT, 2011.

- Arruda, C. M. R., Ribeiro, R. C. C. e Vidal, F. W. H., Aproveitamento do resíduo oriundo do corte do mármore bege Bahia na produção de compósitos poliméricos, na xviii Jornada de iniciação científica – Cetem, Rio de Janeiro, 2010.

- Arruda, C. M. R., Ribeiro, R. C. C. e Vidal, F. W. H., APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MÁRMORE NA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS PARA APLICAÇÃO EM MOBILIÁRIOS ESCOLAR E URBANO, na XIX Jornada de iniciação científica – Cetem, Rio de Janeiro, 2011.

- Arruda, C. M. R., Ribeiro, R. C. C. e Vidal, F. W. H. e Oliveira, M. G., Aproveitamento do resíduo oriundo do corte do mármore Bege Bahia na produção de compósitos poliméricos no XIII Congresso dos Estudantes de Ciência e Engenharia de Materiais do MERCOSUL, de 23 a 30 de julho de 2011, Rio de Janeiro – RJ.

- Ribeiro, R. C. C., Arruda, C. M. R., Vidal, F. W. H. e Oliveira, M. G, Geração de compósitos poliméricos utilizando resíduos oriundos do corte do mármore Bege Bahia no 51 Congresso Brasileiro de Química, de 09 a 13 de outubro de 2011, São Luiz – MA.

- Ribeiro, R. C. C., Arruda, C. M. R., Vidal, F. W. H. e Oliveira, M. G., Aproveitamento do resíduo oriundo do corte do mármore Bege Bahia na produção de compósitos poliméricos no XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMME, de 16 a 19 de outubro de 2011, Salvador – BA.

- Ribeiro, R. C. C., Arruda, C. M. R., Vidal, F. W. H. e Oliveira, M. G, Geração de compósitos poliméricos utilizando resíduos oriundos do corte do mármore Bege Bahia no 11 Congresso Brasileiro de Polímeros - CBPOL, de 16 a 20 de outubro de 2011, Campos do Jordão - SP.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIRROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, Informe 11/2012, São Paulo, São Paulo (Brasil).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D256: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Philadelphia: ASMT, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D790: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Filadélfia: ASTM, 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. G 53-96: Standard Practice for Operating Light-and Water Exposure Apparatus (Fluorescent UV - Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials. Philadelphia: ASTM, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8094/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Névoa Salina. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8095/83: Ensaio de Corrosão por Exposição à Umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14006, Móveis Escolares – Assentos e mesas para conjunto aluno de instituições educacionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14007, Móveis Escolares – Assentos e mesas para instituições educacionais - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1997

CALLISTER, W. D. J., Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 7 ed. RJ, BRASIL: LTC, 2008, 398p.

CARVALHO, F.V., Relação do Polipropileno com Minerais na Resistência Mecânica dos Compósitos Gerados. Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro 2013.

DUBNIKOVA, I. L.; NIZHEGORODTSEVA, E. I.; LOMAKIN S. M., KRASHENINNIKOV V. G., GORENBERG, A. YA. & KULEZNEV, V. N., Preparation and Characteristics of Composites Based on Polypropylene and Ultradispersed Calcium Carbonate. *Polymer Science, ser.A*, v.50, no12, p.1214–1225, 2008.

LAM, T. D.; HOANG, T. V.; QUANG, D. T. & KIM, J. S., Effect of nanosized and surface-modified precipitated calcium carbonate on properties of CaCO<sub>3</sub>/polypropylene nanocomposites. *Materials Science and Engineering, ser.A*, v.501, p. 87-93, 2009.

LING, Z.; ZHENGHUA, W.; RUI, H.; LIANGBIN, L. & XINYUAN, Z, PP/elastomer/calcium carbonate composites: effect of elastomer and calcium carbonate contents on the deformation and impact behavior. *JournalOfMaterials Science*, v.37, p.2615 – 2621, 2002.

MAGALHÃES, A.C.F. Mármore Bege Bahia: dos tempos pretéritos ao panorama atual. III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais – VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Natal-RN, 2008.

RABELLO, M. Aditivação de Polímeros. Editora Artliber. São Paulo, 2000.

VIDAL, F. W. H., RIBEIRO, L. D., ALVES, E., BARRETO, E., PINHO, R., Apoio técnico ao arranjo produtivo do mármore bege-Bahia. Relatório de Andamento de Realizações, Salvador – BA, 2009.

ROCHAS DE QUALIDADE, edição 212, março-abril, 2009.

SANTOS, S. F., Análise de filmes poliméricos densos de ACC/PHANMCL por técnicas de DSC, DMA, XPS, ângulo de contato e AFM. Dissertação de M.Sc. em Física, PUC-RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

SOUZA, L. R.; RIBEIRO, R. C. C. & CARRISSO, R. C. C., Aplicação de Rejeitos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica. In: XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM. Rio de Janeiro, 2008.

VALCARTE, M. B.; BUSALMEN, J. P. & SÁNCHEZ, S. R., The influence of the surface condition on the adhesion of pseudomonas fluorescens (ATTCC 17552) to copper and aluminium brass. *Internacional Journal of Biodeterioration& Biodegradation*, v. 50, n. 1, pp. 61-66, 2002.

VAN OSS, C. J. & GIESE, R. F., Hydrophilicity and hydrophobicity of clay minerals. *Claysand Clay Minerals*, v. 43, n. 4, pp. 474-477, 1995.

VIDAL, F. W. H., Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granites do Ceará, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 1999.

VISCO, G.; GREGORI E.; TOMASSETTI M. & CAMPANELLA L., Probably counterfeit in Roman Imperial Age: Pattern recognition helps diagnostic performed with inductive coupled plasma spectrometry and thermogravimetry analysis of torso and a head of Roman Age marble statue. *MicrochemicalJournal*, v.88, p.210-217, 2008.