

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE ROCHA ARTIFICIAL COM A INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE ETAPA DE LAMINAÇÃO DE VIDRO PLANO EM MATRIZ POLIMÉRICA*

Juan Peixoto¹

Elaine Aparecida Santos Carvalho²

Rubén Jesus Sánchez Rodríguez³

Maria Luiza Menezes⁴

Sérgio Neves Monteiro

Carlos Maurício Fontes Veiral⁵

Resumo

O objetivo do estudo é a incorporação do resíduo de etapa de laminação de vidro plano em matriz epoxídica, para a produção de rocha artificial visando obter um material nacional para uso na construção civil, oferecendo uma alternativa econômica e ecológica. Primeiro foi determinada a composição granulométrica de maior empacotamento dos resíduos, para a produção dos corpos de prova foi utilizado vibração, vácuo e compressão. Os corpos de prova foram submetidos a ensaio físico, flexão, desgaste abrasivo e MEV. As rochas produzidas artificialmente apresentaram propriedades mecânicas dentro da faixa esperada e propriedades físicas com qualidades para ser utilizados com revestimentos ou fachadas, e podendo ser utilizada para ambientes de médio tráfico.

Palavras-chave: Rocha Artificial; Revestimento; Resíduo; Resina.

STUDY OF PRODUCTION OF ARTIFICIAL STONE WITH THE INCORPORATION OF LAMINATED FLAT GLASS' WASTE IN A POLIMERIC MATRIX

Abstract

This study aims to incorporate residue generated from the lamination process of the flat glass' production into epoxy matrixes by producing artificial stones, in order to obtain a national material fit for civil construction applications, providing therefore an ecological and economical alternative product. Firstly, the best-packed granulometric composition was determined. Vacuum, vibration and compression were applied for the production of the specimens. They were also tested for physical properties, flexural strength, abrasive wear and submitted to Scanning Electron Microscope analysis. The artificial stones presented mechanical properties within the expected range and physical properties fit for facade coating, making it suitable for medium traffic applications.

Keywords: Artificial stone; Coating; Residue; Resin.

¹ Engenharia Metalúrgica, Graduando, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ-Brasil

² Química, Doutora, Pós-doutoranda, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ-Brasil.

³ Engenharia Metalúrgica, Mestre, Doutoranda, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ-Brasil.

⁴ Químico, Doutor, Professor, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ-Brasil.

⁵ Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ-Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios do homem não é apenas saber como descartar os resíduos gerados por ele, mas também saber reaproveitar tudo que a princípio é irrelevante de uma forma economicamente viável. Ao longo das últimas décadas o desenvolvimento industrial tem gerado uma grande quantidade de resíduos e o que por muito tempo era depositado de forma inapropriada gerando alguns tipos de contaminação pôde ser transformado em matérias-primas para outros processos produtivos, sendo uma ótima alternativa para certos ramos industriais [1]

No Brasil, o impacto ambiental causado, está se tornando uma questão relevante e exige soluções baseadas em alternativas de reutilização e uma possível solução é a produção de pedras artificiais [2]

A reutilização do resíduo proveniente de etapa de laminação e polimento de vidro plano sodo-cálcico (vidro plano) da empresa Viminás, localizada no estado do Espírito Santo, já possui certo campo de aplicação na construção civil, contudo, seus potenciais físicos, químicos e estéticos, aliados à sua disponibilidade, sugerem ainda diversas novas possibilidades de reciclagem, aliadas a vantagens não só econômicas, mas operacionais também. Vale ressaltar que o vidro que gerou o resíduo em questão, fazia parte da linha de produção de vidro temperado para diversas aplicações na construção civil, onde, posteriormente ao corte e lapidação, se processaria a têmpera deste vidro. A etapa de corte se dá antes da têmpera, pois se sabe que o vidro não pode ser cortado depois da têmpera, em função de suas tensões internas [3].

Segundo Antônio, 2012 são produzidos 290 Kg deste resíduo apenas em uma prensagem, de forma a totalizar 84 toneladas deste material por ano. Parte deste resíduo é reutilizada por indústrias cerâmicas ou reutilizada na produção de vidro, contudo, grande parte deste montante ainda é descartado em aterros sanitários, contribuindo para o acúmulo de dejetos e os problemas decorrentes deste fato [3].

Empresas afirmam que a rocha artificial tem qualidades consideráveis, o que justifica a boa aceitação no mercado consumidor. Entre as vantagens estão, boa impermeabilidade, resistência mecânica [4]. Além disso, pode ser utilizada uma grande variedade de resíduos de diversificadas atividades industriais, contribuindo para o reaproveitamento e reciclagem dos mesmos [1].

O volume de rochas artificiais importadas no 1º trimestre de 2019, foi de US\$ 13 milhões, com variação positiva de 6,2 % e 12,6% frente a 2018. A exportação foi de US\$ 1,36 milhões no 1º trimestre de 2019. Isto reflete que o mercado brasileiro não está suprindo a demanda por estes materiais com sua produção interna [5]

Este estudo visa avaliar a produção de placas de rocha artificial pelo processo de vibração, compressão e vácuo. O domínio da produção de rocha artificial pode oferecer meios para a redução dos volumes de rejeitos depositados diariamente, através de seu aproveitamento em produtos de alto valor agregado, além da possibilidade de inclusão deste novo produto, ambientalmente correto e com boas perspectivas de mercado, nos catálogos da indústria de rochas ornamentais naturais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2 Materiais utilizados

O resíduo de vidro a ser utilizado é proveniente de etapa de laminação e polimento de vidro plano sodo-cálcico, coletado na estação e tratamento de efluentes instalada na empresa Viminás, indústria de beneficiamento e manufatura de vidros, especialmente vidros temperados. A Viminás se localiza no CIVIT II, município da Serra, região metropolitana da Grande Vitória, estado do Espírito Santo, Brasil. Devido a seu estado de aglomeração, foi necessário se aplicar um tratamento prévio do mesmo, inicialmente, a secagem na estufa a 110°C e efetuou a quebra sequencial destes aglomerados, em moinho de bolas. Posteriormente seguiu-se o peneiramento, adotou-se a norma técnica ABNT NBR 7181 para peneiramento fino [6], ambos os resíduos foram classificados entre as peneiras de 10 e 200 mesh, dividindo-se em três diferentes granulometrias: grossa, média e fina como relaciona a Tabela 1.

Tabela 1. Faixas granulométricas utilizadas

Classe	Faixa Granulométrica (mm)
Grosso	2,00 – 0,710
Médio	0,710 – 0,063
Fino	<0,063

- *Resina epóxi*: Do tipo éter diglicídico de bisfenol A (DGEBA); nome comercial: MC130; como endurecedor, utilizou-se a Trietilenotetramina (TETA), ambos fornecidos pela EPOXYFIBER.

2.3 Determinação da composição granulométrica de maior empacotamento

A partir das três faixas granulométricas (grosso (1), médio (2), fino (3)) foram propostas 10 misturas de partículas (com suas proporções de cada componente), para isso utilizou-se um diagrama ternário de modelo cúbico completo, que foi desenvolvido na metodologia de modelagem numérico experimental rede Simplex (Simplex-Lattice Design). O objetivo principal foi determinar qual dessas misturas (Figura 1) apresentou a máxima densidade aparente seca.

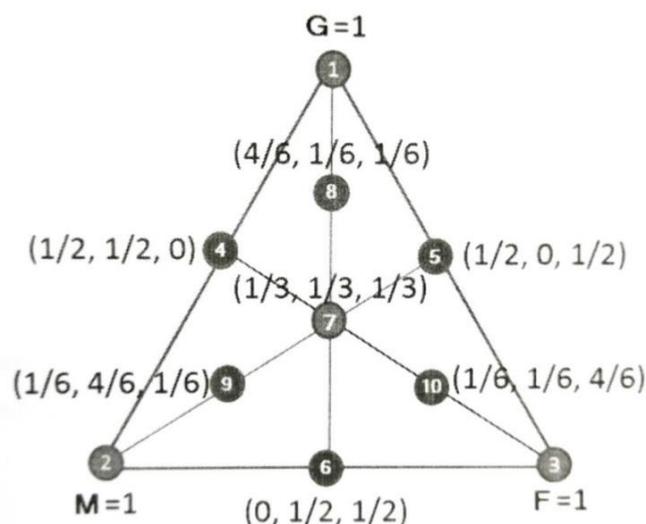


Figura 1. Diagrama ternário com as 10 misturas baseado no modelo cúbico completo do simplex.

A mistura com maior densidade seca aparente representa o maior empacotamento das partículas (1/2 de partículas grosseiras, 1/2 de partículas médias), que foi escolhido para a produção das placas de pedra artificial.

2.4 Produção das placas de rocha artificial

Uma taxa de resina mínima foi calculada para ser usada para preencher a porosidade dentro das partículas, e assim a mistura utilizada foi de 70% de partículas e 30% de resina epóxi. As placas foram produzidas com dimensões 100 mm x 100 mm x 10 mm pelo método de vácuo, vibração e a uma pressão de compactação em uma prensa hidráulica marca Marcone MA 098-A de 0,5 MPa a 90°C por 20 min, resultando em sua cura. Depois, as placas (Figura 2) foram submetidas a uma pós cura e cortadas nas dimensões especificadas nos testes realizados para caracterizá-la.



Figura 2. Placa de RAV 30% produzida para os testes.

2.5 Caracterização das placas de rocha artificial

Foram caracterizadas as placas de rocha artificial produzida RAV 30% (Rocha artificial vidro 30% resina epóxi).

- *Determinação dos índices físicos*: A densidade, porosidade e a absorção de água, das placas produzidas RAV foram determinados pela norma ABNT NBR 15845:2010 [7].

- *Ensaio de flexão em três pontos*: Foi avaliado o desempenho mecânico das placas de rocha artificial, condição de flexão em um sistema de três pontos e realizada na máquina universal de ensaios mecânicos, marca Instron, modelo 5582. As medições foram realizadas utilizando, célula de carga 100KN de acordo com as orientações das normas EN 14617-2 (2008) [8] e do anexo F da norma NBR 15.845 (2010) [7].

- *Desgaste Abrasivo*: O ensaio de desgaste abrasivo foi realizado em equipamento de desgaste abrasivo tipo AMSLER, sendo dois corpos de prova medindo 70 x 70 x 40 mm. O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 12.042:2012 [9]. Os corpos de prova têm suas espessuras medidas antes do ensaio, após 500 metros, e após 1000 metros de pista percorrida.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 mostra os valores obtidos para as propriedades físicas da rocha artificial com resíduo de vidro (RAV 30%). O valor da densidade $1,7 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, que ficou abaixo dos valores relatados na literatura que varia de $2,03 - 2,80 \text{ g/cm}^3$ [5,10,11]. A menor densidade acarreta em um material com menor peso por metro quadrado, ou seja, mais leve e permite fazer interferências sobre a resistência físico-mecânica da rocha [12].

Tabela 2. Propriedades físicas da rocha artificial produzida (RAV 30%)

Propriedades	Rocha Artificial (RAV 30%)
Densidade aparente (g/cm^3)	$1,7 \pm 0,01$
Absorção de água (%)	$0,4 \pm 0,06$
Porosidade aparente (%)	$0,8 \pm 0,04$

A absorção de água foi de $0,4 \pm 0,06 \%$ ficou entre aos valores informados pelos fabricantes de mármore artificial na faixa de $0,09 - 0,40\%$ [13] e entre os indicados por Chiodi e Rodriguez (2009), $0,4 - 0,1 \%$ considerado material de média absorção de água [12].

Para a porosidade aparente foi encontrado um valor médio de $0,8 \pm 0,04\%$, Chiodi e Rodriguez (2009), classificam que materiais de revestimento entre $0,5 - 1,0 \%$ possui baixa porosidade [12]. O valor de porosidade encontrado para RAV 30% está dentro da faixa indicada.

O comportamento mecânico avaliado pela tensão de ruptura em flexão da rocha artificial proposta é apresentada na Tabela 3.

Segundo estudos realizados por Chiodi e Rodriguez (2009), as rochas artificiais que se destinam a ser aplicadas como revestimento são classificadas como matérias de alta resistência quando sua tensão de ruptura em flexão excede 20 MPa [12]. Tendo em vista que a rocha em questão apresentou resistência à flexão de $25 \pm 0,9 \text{ MPa}$.

Além disso, o valor da tensão de ruptura obtido apresenta uma baixa dispersão, o valor do desvio padrão foi relativamente baixo, denotando assim uma considerável estabilidade mecânica do material artificial produzido, podendo ser explicado pela presença das ligações cruzadas geradas pela resina epoxídica e em virtude da inferência que o grau de interligações moleculares aconteceu eficientemente entre a resina e a carga [5].

Tabela 3. Valores de resistência á flexão para a rocha artificial (RAV 30%)

Corpo de prova	Resistência à flexão (MPa)
1	24,36
2	25,39
3	26,00
4	24,21
5	25,67
6	26,94
Média	$25,4 \pm 0,94$

A Figura 3 mostra o gráfico Tensão em Flexão x Deformação para a RAV 30% e para a resina epóxi pura. Comparando o comportamento da resina epóxi e da rocha

produzida é possível observar que a adição de cargas, contribuíram para tornar o material mais rígido, um comportamento esperado, tendo em vista que a incorporação de partículas rígidas numa matriz polimérica geralmente aumenta o módulo de elasticidade do material [11]. Silva et al. (2015) e Ribeiro et al (2014) em suas pesquisas com rocha artificial, alcançaram $26 \pm 2,7$ MPa e $21 \pm 1,9$ MPa , respectivamente. Mais um indício da boa resistência a flexão da rocha artificial desenvolvida [14,15].

Lee et al. (2008) desenvolveu uma rocha artificial utilizando resíduo de vidro e granito e caracterizou o material variando os níveis de pressão de compactação, e frequência de vibração a fim de verificar o comportamento da rocha. No que diz respeito a resistência à flexão temos que quanto maior a pressão de compactação mais resistente o material, assim como quanto maior a frequência de vibração a tensão de ruptura também cresce. Isso ocorre porque o material se torna mais denso e minimiza a presença de vazios [11].

Já, Borsellino et al. (2009) apresentou valores de 16,6 MPa para a tensão de ruptura em flexão de rochas artificial produzidas com 80% em massa de partículas de um mármore calcítico e 20% de resina epóxi [16]. O valor baixo quando comparado a outros tipos de rochas artificiais e de acordo com a classificação proposta por Chiodi e Rodriguez (2009), se explica pelo fato da não utilização do vácuo para a produção das placas de rocha artificial, ocasionando assim o surgimento de vazios conectados que por sua vez atuam como concentradores de tensão influenciando negativamente nas propriedades mecânicas do material [12].

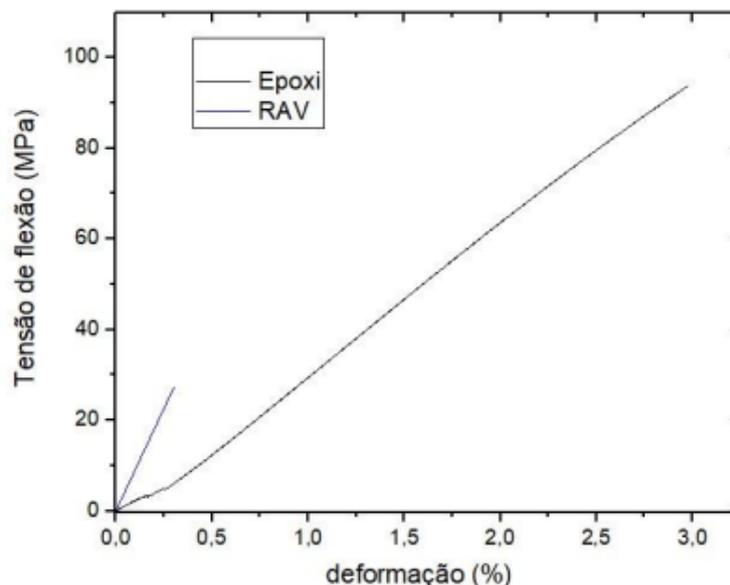


Figura 3. Curvas Tensão e deformação da rocha artificial RAV 30% e da resina epóxi pura.

Apesar de não existir norma que apresente limites para o desgaste abrasivo, Chiodi Filho e Rodriguez (2009) publicou um trabalho que apresentou parâmetros tecnológicos para a utilização de rochas ornamentais em revestimentos de pisos. Tais autores dizem que para piso de alto tráfego, o desgaste deve ser menor que 1,5 mm, para tráfego médio deve ser menor que 3 mm e para baixo tráfego o desgaste deve ser menor que 6 mm [12].

Desta forma, seguindo os parâmetros tecnológicos descritos, a rocha artificial produzida pode ser utilizada para pisos de médio tráfego devido ao desgaste

apresentado, sendo inferior a 3 mm na pista de 1000 m, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de desgaste abrasivo do tipo Amsler para a rocha artificial produzida com 70% resíduo e 30% resina epoxídica.

Amostra	Desgaste após 500 metros (mm)	Desgaste após 1000 metros (mm)
1	0,81 ± 0,31	1,69 ± 0,30
2	0,83 ± 0,15	1,64 ± 0,11
Média	0,82 ± 0,22	1,67 ± 0,21

A Figura 4 (a, b) representam as micrografias obtidas através do MEV das superfícies de fratura da amostra da RAV após ser submetida a ensaio de flexão de três pontos.

Nota-se a presença de vazios, entretanto a existência dos mesmos não constituiu um agravante para afetar negativamente a resistência mecânica em flexão da rocha, tendo em vista que de forma geral a carga e a matriz encontraram-se parcialmente aderidas.

Observa-se predominantemente uma boa adesão entre a matriz e a carga particulada, entretanto é possível notar a presença de áreas em que essa interação não foi efetiva. Destaca-se que quanto mais forte for a interface resina/partícula, melhor as propriedades mecânicas dos compósitos [17].

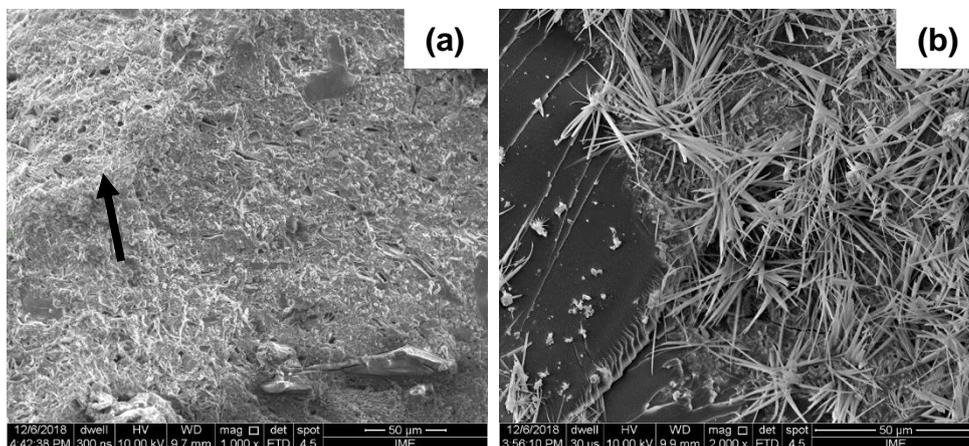


Figura 4. Micrografia eletrônica de varredura das superfícies de fratura da RAV 30% produzido com aumentos de 1000x (a) e 2000x (b).

As micrografias obtidas no MEV comprovaram os resultados obtidos para as propriedades físicas da RCB, já que os valores de absorção de água e porosidade aparente ficou um pouco abaixo de um material considerado de alta qualidade, fato explicado pela presença de porosidade no material.

4 CONCLUSÃO

- Os valores de absorção de água e porosidade ficaram dentro da faixa indicada, mostrando um material com média qualidade para revestimento na área da construção civil;
- A rocha artificial produzida a base de resíduo de vidro e resina epóxi apresentou resistência a flexão satisfatória, superando os valores recomendados para materiais de revestimento;
- As micrografias constataram presença de vazios, que não afetaram drasticamente a resistência mecânica;
- A RCB pode ser utilizada como piso de médio tráfego, o material apresentou propriedades satisfatórias e tem um grande potencial para sua utilização como material alternativo.

Agradecimentos

Agradecemos a UENF e o técnico Renan da Silva Guimarães pelo apoio. E a FAPERJ pelo financiamento cujo o número do processo N: E.26/202.694/2016.

REFERÊNCIAS

- 1 Gomes MLPM, Carvalho EAS, Sobrinho LN, Monteiro SN, Rodrigue RJS, Vieira CMF. Production and characterization of a novel artificial stone using brick residue and quarry dust in epoxy matrix. *Journal of Materials Research and Technology*. 2018; 7(4): 492-498.
- 2 Carvalho EAS, Vilela NF, Monteiro SN, Vieira CMF, Silva LC. Novel Artificial Ornamental Stone Developed with Quarry Waste in Epoxy Composite. *Materials Research*. 2018; 21(suppl. 1): 1-5.
- 3 Antônio A. P. *Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo-cálcico na produção de concretos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Vitória – ES. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2012, 163p.
- 4 Silva FS, Ribeiro CEG, Rubén Rodriguez JS. Physical and Mechanical Characterization of Artificial Stone with Marble Calcite Waste and Epoxy Resin. *Materials Research*. 2018; 21(1):1-6.
- 5 ABIROCHAS. (2019) Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. <<http://abirochas.com.br/2019/04/29/balanco-das-exportacoes-e-importacoes-e-rochas-no-1o-trimestre-de-2019/>> Acesso em maio de 2019.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. Solo - Análise Granulométrica – NBR 7181. Rio de Janeiro.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010. Rochas para revestimento: método de ensaio – NBR 15845. Rio de Janeiro.
- 8 Asociación Española de Normalización y Certificación, 2008. Piedra aglomerada Metodos de Ensayo Parte 2: Determinación de la resistencia a flexión - UNE-EN 14617-2, Madrid.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012. Materiais inorgânicos-Determinação do desgaste por abrasão - NBR 12.042. Rio de Janeiro.
- 10 Demartini TJC, Rodríguez, Silva FSS. Physical and mechanical evaluation of artificialmarble produced with dolomitic marble residueprocessed by diamond-plated bladed gang-saws. *Journal of Materials Research and Technology*. 2018; 7(3): 308-313.

- 11 Lee MY, et. al. Artificial stones lab production using was glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction. *Cement & Concrete Composites*. 2008; 30: 583-587.
- 12 Chiodi CF, Rodriguez EP. Guia de aplicação de rochas em revestimentos. São Paulo: Abirochas, 2009. 118p.
- 13 Alicante. (2019) Aglostone: mármore composto <<http://www.alicante.com.br/aglostone-2/>>. Acesso em maio de 201.
- 14 Silva FS, Ribeiro CE, Rodriguez RJS. Avaliação física e mecânica de rocha artificial produzida com resíduo de mármore calcita. In: I Encontro de Engenharia, Ciência de Materiais e Inovação do Estado do Rio de Janeiro; 2015; Nova Friburgo, RJ; 2015.
- 15 Ribeiro CEG, Rodriguez RJS, Vieira CMF, Carvalho EAS, Monteiro SN. Production of synthetic ornamental marble as a marble waste added polyester composite. *Materials Science Forum*. 2014; 775-776:341-345
- 16 Borselino C, Calabrese L, Di Bella G. Effects of power concentration and type of resin on the performance of marble composite structures. *Construction and Building Materials* 2009; 23(5):1915-1921
- 17 Debnath S, Ranade R, Wunder SL, Mccool J, Boberick K, Baran G. Interface effects on mechanical properties of particle-reinforced composites. *Dent Mater*. 2004; 677-86.