



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA  
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DISSERTAÇÃO**

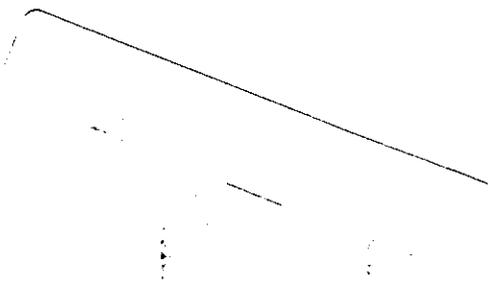
**Reaproveitamento de Resíduos de Granito, Mármore e  
Caulim em compósitos de matriz cerâmica para  
produção de Placas de Revestimento**

**Joseanne de Lima Sales**

**CAMPINA GRANDE  
2012**

Joseanne de Lima Sales

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE GRANITO,  
MÁRMORE E CAULIM EM COMPÓSITOS DE MATRIZ  
CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS DE  
REVESTIMENTO**



Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Engenharia de Materiais  
como requisito à obtenção do título  
de MESTRE EM CIÊNCIA E  
ENGENHARIA DE MATERIAIS

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. CRISLENE RODRIGUES DA SILVA MORAIS

Co-Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. LENILDE MÉRGIA RIBEIRO LIMA

Agência Financiadora: CAPES

Campina Grande  
Fevereiro/2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

S163r Sales, Joseanne de Lima  
Reaproveitamento de resíduos de granito, mármore e caulim em  
compósitos de matriz cerâmica para produção de placas de revestimento /  
Joseanne de Lima Sales. - Campina Grande, 2011.  
107 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) –  
Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Crislene Rodrigues da Silva Morais e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>  
Lenilde Mérgia Ribeiro Lima.

Referências.

1. Resíduos Sólidos. 2. Compósitos. 3. Placas de Revestimento. I.  
Título.

CDU 628.312.1(043)

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE GRANITO, MÁRMORE E CAULIM  
EM COMPÓSITOS DE MATRIZ CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE PLACAS  
DE REVESTIMENTO.**

**Joseanne de Lima Sales**

Dissertação Aprovada em 27/02/2012 pela banca examinadora constituída dos seguintes membros:



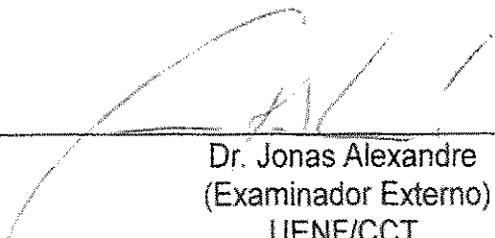
---

Dr<sup>a</sup>. Crislene Rodrigues da Silva Moraes  
(Orientadora)  
UAEMa/UFCG



---

Dr<sup>a</sup>. Luciana de Figueirêdo Lopes Lucena  
(Examinadora Externa)  
ECT/UFRN



---

Dr. Jonas Alexandre  
(Examinador Externo)  
UENF/CCT



---

Dr<sup>a</sup>. Djane de Fátima Oliveira  
(Examinadora Externa)  
UEPB



---

Dr<sup>a</sup>. Lenilde Mergia Ribeiro Lima  
(Examinadora Externa)  
UEPB

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, fonte de vida e de toda inspiração, sem a qual nada seria possível.

A todos os professores e companheiros que fiz ao longo desta jornada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

À professora e orientadora Crislene Moraes por assumir verdadeiramente seu papel de orientação e participar ativamente da realização deste trabalho, sem esquecer toda a sabedoria e compreensão dedicada.

À Co-orientadora Lenilde Mérgia Ribeiro Lima pelo apoio, revisões e sugestões.

Aos funcionários dos laboratórios de caracterização e Processamento de materiais do PPG-CEMat nas pessoas de seu Ananias e Fernandes pela atenção e ajuda.

À empresa Arnil - Mineração do Nordeste na pessoa de Ubiratan Campos; à empresa FGM, representada pelo engenheiro de materiais Rodrigo Brandão; à indústria Polinox do Brasil na pessoa de Carlos Assunção distribuidor na Paraíba e à Elekeiroz, representada pela diretora técnica Silvana Brito Rocha.

Aos membros da banca avaliadora.

Aos amigos e colegas da PPG-CEMat, em especial a Ana Flávia, Munique, Jean Pierre, Polyana, Taciana, Greyce, nunca os esquecerei.

Aos amigos do programa Marina, Valdênia, Pablo, Brunno, Rita e Isabelle que me ajudaram em algumas etapas para a realização deste trabalho.

A minha mãe, figura importantíssima em minha caminhada, onde sempre me direcionou e apoiou.

Ao meu esposo Juan Carlos por toda a paciência e ajuda em cada momento, e a minha filha Anna Júlia, que mesmo não entendendo se fez presente sempre.

Aos demais amigos que, desde o princípio desta Pós Graduação, torceram e contribuíram com esta vitória.

**SALES, J.L. Reaproveitamento de resíduos de granito, mármore e caulim em compósitos de matriz cerâmica para produção de placas de revestimento.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2011.93.p.

### **RESUMO**

O setor mineral gera grandes quantidades de resíduos resultando em um impacto ambiental muito forte. Seu reaproveitamento em compósitos de matriz cerâmica usados como revestimento são pisos de alta resistência que possuem propriedades com baixa porosidade devido à adição de uma resina estruturante em poliéster. Nesta perspectiva este trabalho objetiva a utilização de resíduos gerados nas indústrias de exploração e beneficiamento de caulim, e com resíduos sólidos provenientes do corte das rochas ornamentais de mármore e granito, estudadas suas propriedades térmicas e espectroscópicas, na expectativa de produção de placas de revestimento. Os resíduos foram beneficiados utilizando o processo de moagem a seco em moinho de galgas e passados em peneira 0,074mm (ABNT nº 200). Foram realizados ensaios de caracterização físico-químicos (análise granulométrica, fluorescência de raios-X e difração de raios-X), térmicos (análise térmica diferencial e termogravimetria) e tecnológicos (absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência a flexão). Os resultados demonstraram que os compósitos apresentaram absorção de água  $\leq 0,5$  havendo relação direta com a porosidade aparente, onde apresentaram resistência mecânica dentro do exigido pelas normas (ABNT 13.816) para placas de revestimento. As variações de composição (resina/resíduo) não influenciaram no comportamento térmico, tendo demonstrado propriedades satisfatórias quando comparadas com o produto industrializado. O produto desenvolvido contribuirá para redução dos impactos ambientais, possibilitando o reaproveitamento dos resíduos utilizados na produção de placas para revestimento.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, compósitos, placas de revestimento.

Sales, J.L. **Reuse of waste granite, marble and kaolin in the production of composite in ceramic matrix flooring boards.** Thesis (Masters). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2011.93 p.

### **ABSTRACT**

The mining sector generates large quantities of waste resulting in a very strong environmental impact. Its reuse in ceramic matrix composites is used as coating for floors having high strength properties due to low porosity adding a structuring polyester resin. In this perspective, this work aimed at the use of waste generated in the industries of exploitation and beneficiation of kaolin, and solid waste from the cutting of ornamental rocks, studied their thermal and spectroscopic, in view of producing covering plates. The residues were benefited using process of dry grinding and gauges mill and passed of 0.074 mm sieve (ABNT N° 200). Tests of physical-chemical characterization (particle size analysis, X-ray fluorescence and X-ray diffraction), thermal (differential thermal analysis and thermogravimetry) and technology (water absorption, apparent porosity, bulk density and flexural strength.) The results showed that the composites exhibited water absorption  $\leq 0.5$  there is a direct relationship with the porosity, mechanical strength where they presented within the required standards (ABNT 13816) for coating plates. Variations in composition (resin / residue) had no effect on the thermal behavior, having demonstrated satisfactory properties when compared to the manufactured product. The developed product will contribute to reducing environmental impacts, enabling the reuse of waste used to produce plates for coating.

**Keywords:** solid waste, composites, covering plates.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Rochas Ornamentais - Estoque da Empresa Oficina do Granito.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2 - Porcelanato aplicado em piso.....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3 - Aplicação de Grês Porcelanato em parede.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 4 - Azulejo decorado.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 5 - Alguns tipos de pastilhas de vidro.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 6 - Ladrilhos.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 7 - Piso vinílico linha absolute Tetalsafe aplicado em ambiente hospitalar.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 8 - Material Silestone® .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 9 - Retraços de granito e mármore.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 10 - Fórmula Resina de Poliéster Insaturado ortoftálica.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 11 - Resíduo de Caulim – Equador-RN.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 12 - Galpão de produção e corte das placas da Empresa Oficina do Granito.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 13 - Colocação do resíduo de mármore no moinho.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 14 - Resíduo de granito no moinho.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 15 - Resíduos de caulim, mármore e granito beneficiados.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 16 - Mistura dos resíduos e resina.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 17 - Molde de ferro com divisão das placas e deposição da massa cerâmica.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 18 - Prensa hidráulica SOMAR.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 19 - Corpos de prova.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 20 - Placas pesadas em balança analítica.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 21 - Imersão das placas.....</b>	<b>56</b>

<b>Figura 22</b> - Pesagem dos corpos de prova em balança hidrostática.....	57
<b>Figura 23</b> - Ensaio de flexão em três pontos.....	58
<b>Figura 24</b> - Curvas TGA/DTGA do resíduo de granito, obtidas a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	61
<b>Figura 25</b> - Curvas TGA/DTGA do resíduo de mármore, obtidas a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	62
<b>Figura 26</b> - Curvas TGA/DTGA da placa cerâmica silestone, obtidas a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	62
<b>Figura 27</b> - Curva DTA do resíduo de granito, obtida à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	63
<b>Figura 28</b> - Curva DTA do resíduo de mármore, obtida à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	64
<b>Figura 29</b> - Curva DTA do resíduo de mármore, obtida à razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	64
<b>Figura 30</b> - Difração de raios-x do resíduo de caulim.....	65
<b>Figura 31</b> - Difração de raios-x do resíduo de mármore.....	65
<b>Figura 32</b> - Difração de raios-x do resíduo de granito.....	66
<b>Figura 33</b> - Difração de raios-x do silestone.....	66
<b>Figura 34</b> - Curva granulométrica do resíduo de caulim.....	67
<b>Figura 35</b> - Curva granulométrica do resíduo de mármore.....	67
<b>Figura 36</b> - Curva granulométrica do resíduo do granito.....	67
<b>Figura 37</b> - Valores médios absorção de água (AA%).....	70
<b>Figura 38</b> - Valores médios de porosidade aparente (PP%).....	71
<b>Figura 39</b> - Valores médios de massa específica aparente (MEA%).....	71
<b>Figura 40</b> - Valores médios de resistência à flexão (TRF%).....	72
<b>Figura 41</b> - Curvas TGA/DTGA da composição A40R9, obtidas a razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de $\text{N}_2$ .....	73

- Figura 42** - Curvas TGA/DTGA da composição A45R10, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....73
- Figura 43** - Curvas TGA/DTGA da composição A50R11, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....73
- Figura 44** - Curvas TGA/DTGA da composição A50R12, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....74
- Figura 45** - Curva DTA da composição A45R9, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....76
- Figura 46** - Curva DTA da composição A45R10, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....76
- Figura 47** - Curva DTA da composição A50R11, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....76
- Figura 48** - Curva DTA da composição A50R12, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .....77

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 1</b> - Composição geral do Silestone® .....	38
<b>Tabela 2</b> - Composição de preparação da Resina .....	39
<b>Tabela 3</b> - Especificações resina poliéster UCEFLEX UC 2636.....	47
<b>Tabela 4</b> - Propriedades típicas Brasnox® TBPB 45.....	48
<b>Tabela 5</b> - Nomenclatura utilizada para as amostras estudadas.....	52
<b>Tabela 6</b> - Composição química dos resíduos de beneficiamento do caulim, mármore, granito e do silestone.....	60
<b>Tabela 7</b> - Dados da decomposição térmica dos resíduos estudados a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> , sob atmosfera de N <sub>2</sub> .....	63
<b>Tabela 8</b> - Características granulométrica dos resíduos.....	68
<b>Tabela 9</b> - Composições e ensaios físico-mecânicos.....	69
<b>Tabela 10</b> - Dados da decomposição térmica das composições estudadas a razão de aquecimento de 10°C.min <sup>-1</sup> , sob atmosfera de N <sub>2</sub> .....	74
<b>Quadro 1</b> - Dimensões dos corpos de prova para os ensaios físicos-mecânicos.....	54
<b>Quadro 2</b> - Grupos de absorção de água.....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>A40R9</b>	40ml de resina e 90g de resíduos
<b>A40R10</b>	40ml de resina e 100g de resíduos
<b>A40R11</b>	40ml de resina e 110g de resíduos
<b>A40R12</b>	40ml de resina e 120g de resíduos
<b>A40R9</b>	40ml de resina e 90g de resíduos
<b>A45R10</b>	45ml de resina e 100g de resíduos
<b>A45R11</b>	45ml de resina e 110g de resíduos
<b>A45R12</b>	45ml de resina e 120g de resíduos
<b>A45R9</b>	45ml de resina e 90g de resíduos
<b>A50R10</b>	50ml de resina e 100g de resíduos
<b>A50R11</b>	50ml de resina e 110g de resíduos
<b>A50R12</b>	50ml de resina e 120g de resíduos
<b>A50R9</b>	50ml de resina e 90g de resíduos
<b>AA</b>	Absorção de água
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ANFACER</b>	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
<b>C<sub>D</sub></b>	Coefficiente de distribuição
<b>C<sub>U</sub></b>	Coefficiente de uniformidade
<b>D10</b>	Diâmetro no qual 10% das partículas estão abaixo dele
<b>D50</b>	Diâmetro no qual 15% das partículas estão abaixo dele
<b>D90</b>	Diâmetro no qual 90% das partículas estão abaixo dele
<b>DRX</b>	Difração de Raios-X

<b>DSC</b>	Calorimetria Exploratória Diferencial
<b>DTA</b>	Análise Térmica Diferencial
<b>DTGA</b>	Termogravimetria Derivada
<b>MAE</b>	Massa específica aparente
<b>Mi</b>	Massa do corpo imerso
<b>MPTMS</b>	Metacriloxipropiltrimetoxisilano
<b>Mq</b>	Massa do corpo de prova seco
<b>Mu</b>	Massa do corpo de prova saturado em água
<b>NBR</b>	Norma Brasileira de Regulamentação
<b>PA</b>	Porosidade aparente
<b>PF</b>	Perda ao fogo
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>PVC</b>	Policloreto de Vinila
<b>TGA</b>	Termogravimetria
<b>TRF</b>	Tensão de ruptura a flexão em três pontos
<b>UAEC</b>	Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
<b>UAEMA</b>	Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais
<b>UFCG</b>	Universidade Federal de Campina Grande

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>16</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos.....	19
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>21</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Minerais e Rochas</b> .....	<b>21</b>
2.1.1 Caulim.....	22
2.1.2 Mármore.....	25
2.1.3 Granito.....	26
<b>2.2 Produtos Utilizados como Revestimento</b> .....	<b>28</b>
2.2.1 Revestimentos.....	29
2.2.1.1 <i>Porcelanato</i> .....	30
2.2.1.2 <i>Grés Porcelanato</i> .....	31
2.2.1.3 <i>Azulejo</i> .....	32
2.2.1.4 <i>Pastilhas</i> .....	34
2.2.1.5 <i>Placas ou Ladrilhos</i> .....	34
2.2.2 Revestimento Compósito.....	35
2.2.2.1 <i>Silestone</i> .....	36
2.2.2.1.1 <u><i>Endurecimento da Resina</i></u> .....	37
2.2.2.1.2 <u><i>Processo de Fabricação</i></u> .....	38
<b>2.3 Resíduos Sólidos</b> .....	<b>39</b>
<b>2.4 Materiais Compósitos</b> .....	<b>41</b>

2.4.1	Matriz Cerâmica.....	41
2.4.2	Resina de Poliéster.....	42
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>45</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Beneficiamento e Caracterização dos Materiais.....</b>	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>Caracterização dos Materiais.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4</b>	<b>Formulações dos Compósitos de Matriz Cerâmica.....</b>	<b>51</b>
<b>3.5</b>	<b>Conformação das Placas.....</b>	<b>52</b>
<b>3.6</b>	<b>Ensaio Tecnológico e de Caracterização para Avaliação dos Corpos de Prova.....</b>	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>59</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização dos Materiais.....</b>	<b>60</b>
4.1.1	Análise Química.....	60
4.1.2	Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial (TGA/DTA).....	61
4.1.2.1	<i>Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TGA/DTGA)</i>	61
4.1.2.2	<i>Análise térmica diferencial (DTA)</i> .....	63
4.1.3	Difração de Raios X.....	64
4.1.4	Análise Granulométrica.....	67
<b>4.2</b>	<b>Ensaio Físico-Mecânico dos Compósitos.....</b>	<b>68</b>
<b>4.3</b>	<b>Caracterização Térmica dos Compósitos.....</b>	<b>72</b>
4.3.1	Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TGA/DTGA).....	72
4.3.2	Análise Térmica Diferencial (DTA).....	75
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>78</b>

<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>94</b>
Apêndice A – Tabelas de composições.....	94
Apêndice B – Ensaio físico-mecânicos das composições.....	96
Apêndice C – Curvas TGA/DTGA composições.....	100
Apêndice D – Curvas DTA composições.....	104
<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo 1- Publicação.....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo 2 – Boletim técnico Catalisador.....</b>	<b>120</b>
<b>Anexo 3 – Boletim técnico Resina.....</b>	<b>148</b>
<b>Anexo 4 – Boletim técnico Silano.....</b>	<b>150</b>

**CAPÍTULO I**  
**Introdução e Objetivos**

---

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem ocorrido um crescente interesse na prevenção da poluição ambiental, minimização de resíduos e desenvolvimento sustentável, sobretudo no campo dos materiais. O descarte de resíduos, de um modo geral, ocasiona um impacto ambiental muito forte, o que tem justificado o esforço de pesquisas visando encontrar uma solução racional para este problema. O setor mineral gera grande quantidade de resíduos de diversos tipos e níveis de periculosidade como, por exemplo, a indústria de beneficiamento do caulim, a qual gera resíduos à base de caulinita em grandes quantidades.

As marmorarias produzem enormes quantidades de resíduos em forma de retalhos de rocha provenientes de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes resíduos são obtidos do processo de recorte das peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore e granito e, muitas vezes, são jogados no pátio das empresas.

O mercado mundial de revestimento cerâmico segue sua tendência de crescimento, sendo a China líder em produção e consumo. O Brasil, com sua produção crescente, tende, nos próximos anos, a superar Itália e Espanha, tornando-se o segundo produtor mundial. No comércio internacional, observa-se um rápido e acentuado crescimento das exportações chinesas. Os Estados Unidos da América seguem como maior mercado importador, do qual o Brasil já é o terceiro fornecedor mundial. Logo, uma alternativa interessante, ainda não posta em prática, é o aproveitamento deste resíduo em massas argilosas para obtenção de revestimentos cerâmicos de forma Eco-Eco (econômico-ecológica) (ANFACER, 2010).

A destinação final dos resíduos industriais, líquidos e sólidos, é motivo de crescente preocupação das empresas e dos órgãos ambientais que, através de rigorosa fiscalização, têm obrigado as empresas a cuidados minuciosos com seus resíduos, durante todo o processo produtivo, desde a sua correta classificação, tratamento, coleta e transporte, até sua destinação final. Na busca de novas alternativas de destinação nobre a esses resíduos, muitas pesquisas e trabalhos vêm sendo desenvolvidos em todo o mundo, principalmente por pesquisadores das áreas de engenharia civil, materiais,

mecânica e química, propondo alternativas ao descarte desses materiais no meio ambiente, visando seu reaproveitamento como matéria prima na fabricação de diversos produtos. A contínua necessidade, por parte do mercado, de novos produtos dotados de propriedades funcionais sempre melhores, também tem estimulado a pesquisa para a aplicação de materiais de baixo custo. Nos últimos anos, foram muitos os estudos que analisaram a possibilidade de reciclagem de uma vasta gama de resíduos industriais, como o granito e o mármore. A maior parte das pesquisas demonstrou a importância da reciclagem na proteção ambiental e no desenvolvimento tecnológico.

O objetivo principal desse trabalho é a utilização de resíduos gerados nas indústrias de exploração e beneficiamento de caulim, juntamente com resíduos sólidos provenientes do corte das rochas de mármore e granito para a fabricação de placas cerâmicas para revestimento. Para tanto, será estudada a influência do acréscimo destes resíduos a uma massa padrão aditivada com resina de poliéster ortoftálica já utilizada na produção de revestimento cerâmico por uma Indústria Européia.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar compósitos de matriz cerâmica produzidos com resíduos de Caulim, Granito e Mármore, para utilização como placas de revestimento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Beneficiar e caracterizar as matérias primas, resíduos e placas cerâmicas industrializadas através de ensaios de Análise Térmica Diferencial (DTA), Termogravimetria (TGA), Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios -X e Granulometria a Laser.
- Formular os compósitos de matriz cerâmica e conformar por prensagem.
- Confeccionar e caracterizar através de ensaios físico-mecânicos os corpos de prova, seguindo as Normas da ABNT (NBR 13816/ 13817/ 13818).
- Comparar as propriedades físico-mecânicas das placas industrializadas com as dos compósitos obtidos.

**CAPÍTULO II**  
**Fundamentação Teórica**

---

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Minerais e Rochas

Minerais são elementos ou compostos químicos com composição definida dentro de certos limites, cristalizados e formados naturalmente por meio de processos geológicos inorgânicos. A composição química e as propriedades cristalográficas bem definidas do mineral fazem com que ele seja único dentro do reino mineral e, assim, receba um nome característico (MADUREIRA, ATENCIO e MCREATH, 2000).

A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) está presente na maioria dos minerais, seja sob a forma livre (grupo do quartzo, sílica amorfa), seja associada a outros elementos e grupos químicos, metálicos e não-metálicos, como no caso dos minerais denominados feldspatos, feldspatóides, micas, cloritas, olivinas, piroxênios, anfibólios e epidotos, entre outros, todos eles também constituintes comuns de grande parte das rochas extraídas e beneficiadas para uso ornamental ou como revestimento.

Rochas ornamentais (Figura 1) e para revestimento são aquelas capazes de ser extraídas de pedreiras sob a forma de blocos ou placas, recortadas em formas diversas e beneficiadas por meio de esquadrejamento, polimento ou lustro, para emprego como revestimento ou estrutura de edificações – pisos, fachadas, paredes, soleiras e colunas, e peças decorativas ou funcionais – tampos e pés de mesa, balcões, pias, divisórias, esculturas e arte funerária (CHIODI FILHO, 1995).

**Figura 1** – Rochas Ornamentais - Estoque da Empresa Oficina do Granito



Fonte: Pesquisa Direta, 2010.

O revestimento é a aplicação mais comum das rochas ornamentais (65%), seguido pelo uso em arte funerária (15%) e uso estrutural (10%). Os demais 10% correspondem a diversas outras formas de uso (MONTANI, 2003). Conforme a classificação do mercado, os principais tipos de rochas ornamentais são os granitos e os mármore. Porém, outras rochas estão presentes neste campo, como travertinos, quartzitos, arenitos, conglomerados e ardósias. Esta maior importância dos granitos e dos mármore é decorrente do volume de sua extração (MELLO, 2006).

### 2.1.1 Caulim

O termo caulim ou “china *clay*” é utilizado para denominar a rocha que contém a caulinita e também o produto resultante de seu beneficiamento. Remete a uma colina ao norte da China, onde há muito tempo a argila é adquirida e, em geral, possui cor branca ou próxima desta, devido ao baixo teor de ferro.

Embora o mineral caulinita seja o principal constituinte do caulim ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), outros elementos além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio acham-se geralmente presentes. A composição química do caulim é usualmente expressa em termos de óxidos dos vários elementos, embora eles possam estar presentes em forma mais complexa e por vezes desconhecida (LUZ e DAMASCENO, 1993).

O uso desse mineral nos diferentes ramos industriais está vinculado às suas propriedades ópticas, mineralógicas e químicas, das quais podem ser destacadas:

- Quimicamente inerte em uma grande faixa de pH (3 a 9).
- Coloração branca ou quase branca (possui alvura elevada).
- Macio e pouco abrasivo.
- Capacidade de cobertura quando usado como pigmento e reforçador para as aplicações de carga.
- Fácil dispersão.
- Possui baixa condutividade térmica e elétrica.

- Possui compatibilidade com praticamente todos os adesivos (proteína, caseína), devido à dispersão e inércia química.
- Produto de preço competitivo em relação aos materiais alternativos.
- Aplicações industriais e pesquisas em desenvolvimento.
- Usado para controlar empenamento da madeira.

Devido às características citadas, o caulim possui diversas aplicações industriais importantes. Segundo Bundy (1993) estas aplicações podem ser classificadas em sete categorias, de acordo com suas funções primárias.

- Pigmento, cobertura e carga na indústria de papel, matéria prima para a indústria cerâmica (porcelana, azulejo, esmalte).
- Matriz para catalisadores (craqueamento de petróleo e dispositivo para exaustão de gases em automóveis).
- Isolante elétrico, agente fortalecedor de borrachas e concretos, cobertura digestiva de remédios (fármacos).
- Além disso, o caulim pode ser usado na fabricação de cimento branco, pesticidas, vidros, adesivos, cosméticos, plásticos (LUZ, 2000).

O caulim tem muitas aplicações industriais e novos usos estão constantemente sendo pesquisados e desenvolvidos. É um mineral industrial de características especiais e seu custo é inferior a maioria dos materiais concorrentes (SILVA, VIDAL e PEREIRA, 2001).

Reservas de caulim são abundantes, destaque para o tamanho e qualidade dos secundários encontrados nos Estados Unidos e Brasil e dos primários do Reino Unido. Estes caulins são direcionados principalmente para usos nobres, como o de cobertura na indústria de papel.

Na região nordeste do Brasil, as principais indústrias mineradoras de caulim estão instaladas na região da Província Pegmatítica de Borborema do Seridó, localizada nos municípios do Equador (RN) e Junco do Seridó (PB).

Luz e Damasceno (1993) explicam que os caulins ocorrem associados a várias impurezas, não atendendo, dessa forma, às especificações de mercado. As impurezas, como óxidos de ferro e titânio, mica e feldspato, influenciam diretamente na cor e alvura do caulim comprometendo sua qualidade. Para promover o seu melhor aproveitamento é necessário realizar operações de

beneficiamento, que vão depender do uso a que se destina. Existem dois processos de beneficiamento: via seca e via úmida.

O beneficiamento inicia-se com a adição de água ao caulim bruto e a sua desagregação em um misturador. Em seguida, a polpa é transportada por gravidade para a etapa de peneiramento. Neste transporte ocorre o desaeramento, no qual são sedimentados os materiais mais grosseiros, constituídos por mica, quartzo, feldspato, entre outros. Esse material é removido manualmente, através de pás perfuradas, e depositados em terrenos da empresa (CABRAL, 2009).

De acordo com Cabral (2009), na etapa de peneiramento ocorre a classificação das partículas da mistura. Essa etapa é formada por um conjunto de peneiras que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha. O material peneirado é bombeado, por gravidade, através de tubulações, para um sistema de tanques onde se inicia a fase de decantação e sedimentação.

Barata e Molin (2002) afirmam que é durante a fase de lavagem e classificação do tamanho das partículas da mistura que se tem a geração do resíduo da cadeia produtiva do caulim. Estima-se que é gerada uma grande quantidade de resíduo, pois 70% da matéria prima bruta são rejeitados durante o processo.

Sabe-se que todo o material rejeitado é depositado a céu aberto, pois as indústrias beneficiadoras não se preocupam em construir tanques de deposição, lançando assim enorme quantidade de rejeito no meio ambiente.

Durante o processamento do caulim são gerados rejeitos líquidos (geralmente lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados). Tais rejeitos podem conter ferro, alumínio, zinco e cádmio, entre outros contaminantes, acima do recomendado pela legislação, o que causa alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos, deixando a água dos rios esbranquiçada e turva. O material altera quimicamente a água reduzindo a quantidade de plâncton e provocando a morte dos peixes (SILVA, 2001).

Embora exista uma preocupação ambiental por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do caulim ainda causa transtornos, tais como a produção excessiva de particulados gerados durante o transporte de caulim (matéria prima bruta) e produção de rejeitos (resíduos). Esses resíduos, quando secos, transformam-se em pó e, pela ação dos ventos, esse pó

espalha-se pelas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua (SILVA, 2001).

Atualmente, existe uma grande preocupação por parte das indústrias com a disposição dos resíduos gerados ao longo do processo produtivo. No setor mineral não é diferente, pois este gera grande volume de resíduos. Verificou-se que a indústria de beneficiamento do caulim descarta grandes volumes de resíduo constituído basicamente de caulinita, mica moscovita e quartzo, ocasionando um impacto ambiental, o que tem justificado os esforços de pesquisas para sua solução.

### 2.1.2 Mármore

As rochas comercialmente designadas por mármore englobam as rochas carbonatadas, incluindo calcários, dolomitos e seus correspondentes metamórficos (os mármore, propriamente ditos) que são produzidas em blocos. São rochas metamorfasadas de origem sedimentar, com pouco ou nenhum teor de quartzo, o que as tornam mais “macias” em relação aos granitos e, conseqüentemente, sofrem maior desgaste (PALDÉS, 2009).

Os mármore propriamente ditos resultam das modificações ocorridas em calcários e dolomitos e estão relacionadas a variações nas condições de pressão e temperatura, do ambiente geológico de origem metamorfismo. O padrão cromático do mármore é definido por minerais acessórios e/ou impurezas, pois os constituintes principais (calcita e dolomita) são normalmente brancos.

A dureza (resistência ao risco) é sensivelmente menor nos mármore do que nos granitos, pois a calcita e a dolomita apresentam dureza na escala Mohs entre 3 e 4. Os granitos não são riscados por canivetes, chaves ou pregos, como os mármore. Os mármore reagem ao ataque do ácido clorídrico ou muriático, efervescendo tanto mais intensamente quanto maior o seu teor em calcita (OTURAN et al., 2000).

As rochas ígneas têm origem no resfriamento do magma. A grande maioria dos magmas observados tem composição silicática, com seus principais componentes sendo oxigênio (O) e Silício (Si). Há ainda, presentes nos magmas silicatados, os componentes Fe, Ca, Mg, Na, K, Al e Ti, que

fazem parte da composição da rocha e, por isso, são tratados como elementos principais, e outras substâncias, como P e Mn que são conhecidos como traços (POZZO et al. 2005).

No caso dos mármore e quartzitos, o sedimento original é formado por minerais com pouca tendência ao desenvolvimento de formas lamelares por cristalização, ou então o metamorfismo se dá sem pressão, formando estruturas granulares (OTURAN et al. 2000).

O Brasil, grande detentor de reservas de mármore e granitos, necessita definir metas para que sirvam como exemplos e inovações internacionais. É de fundamental importância a implantação de uma política que concilie o aproveitamento ideal dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias. A parte metálica (Fe) do resíduo, constituída pela granalha, pode ser recuperada e reutilizada para outro fim. Os minerais constituintes do resíduo (pó de serraria) podem ser usados para fins mais nobres, na indústria cerâmica, e de construção civil (argamassa de assentamentos, argamassa de revestimento interno e externo), como também os retraços oriundos dos cortes da rocha para polimento e obtenção de placas menores de revestimento, gerando, assim, uma quantidade significativa de resíduos no interior das marmorarias (PONTES e VIDAL, 2005).

### 2.1.3 Granito

Para o setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo granito designa um amplo conjunto de rochas silicáticas, abrangendo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos (KUSVUAN et al. 2005).

A composição mineralógica dos "granitos" é assim definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e moscovita), anfibólios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfibólios são os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitóides (WANG et al., 2005).

Wilson, Armstrong e Rifari (1994) afirmam que, macroscopicamente, o quartzo é reconhecido como o mineral incolor ou fumê, geralmente translúcido, muito comum nos granitos, podendo-se também encontrá-lo na cor azulada em rochas específicas. Os feldspatos (microclínio, ortoclásio e plagioclásios) são os principais balizadores do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada nos granitos homogêneos (isótopos) e orientados/movimentados (anisótopos).

A cor negra variavelmente impregnada na matriz das rochas silicáticas, é conferida pelos minerais máficos (silicatos ferro-magnesianos), sobretudo anfibólio (hornblenda) e mica (biotita), chamados vulgarmente de “carvão” (SCHUMB, SATTERFIELD e WENTWORTH, 1955).

Nos granitos mais leucocráticos (claros), portanto com menor quantidade de minerais ferro-magnesianos, o quartzo e o feldspato compõem normalmente entre 85% e 95% da rocha.

As pedreiras de granitos normalmente são compostas por bancadas, de diferentes modalidades. Essas modalidades vão depender da jazida e da forma de ocorrência do mineral. Dessas bancadas são extraídos os blocos da rocha (HASSEMER e SENS, 2002).

Nessa etapa da cadeia podem-se enunciar alguns impactos ambientais relevantes: impacto visual pós-extração, impacto ecológico (principalmente se a rocha for carbonática), geração de resíduos, queda de barrancos ou depósitos aleatórios de pedaços rochosos resultantes de trincas do material a ser extraído e poluição sonora, visto que diversos equipamentos utilizados são bastante barulhentos (KUNZ et al. 2002).

Após a etapa de extração e transporte até os pátios das empresas beneficiadoras, o bloco rochoso dá entrada num tear, na maioria das vezes convencional, para que seja realizada a serragem, conforme especificações da clientela. Nesta etapa do processo, a demanda de água é muito elevada e uma pequena parte das empresas possui uma gestão adequada de recursos hídricos.

Durante a serragem, ocorre a geração abundante de lama abrasiva, rica em cal, pó de rocha, granalha desgastada e limalha resultantes do desgaste das lâminas de aço carbono. Aproximadamente de 26% a 50% do bloco

rochoso viram resíduo, dependendo da espessura das chapas serradas (HOLME, 1984).

## **2.2 Produtos Utilizados como Revestimento**

As placas cerâmicas são constituídas, em geral, de três camadas: a) o suporte ou biscoito, b) o engobe, que tem função impermeabilizante e garante a aderência da terceira camada, e c) o esmalte, camada vítrea que também impermeabiliza, além de decorar uma das faces da placa. O corpo cerâmico compõe-se de matérias primas naturais, argilosas e não argilosas. Os materiais argilosos são formados de uma mistura de diversos tipos e características de argilas para dar a composição desejada e são a base do biscoito. Os materiais não argilosos, quartzo, feldspato e caulim, servem para sustentar o corpo cerâmico ou promover a fusão da massa e os materiais sintéticos são utilizados para a produção de engobes e esmaltes e servem para fazer a decoração dos revestimentos.

Estes revestimentos são usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grés, lajota e piso. A tecnologia do porcelanato trouxe produtos de qualidade técnica e estética refinada, que em muitos casos se assemelham às pedras naturais (ANFACER, 2010).

A norma brasileira NBR 13817 (1997), que trata da classificação dos revestimentos cerâmicos, prescreve os seguintes critérios de classificação:

- a) esmaltadas e não esmaltadas;
- b) métodos de fabricação (por exemplo: prensado, extrudado e outros);
- c) grupos de absorção de água;
- d) classes de resistência à abrasão superficial em número de 5;
- e) classes de resistência ao manchamento, em número de 5;
- f) classes de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração;
- g) aspecto superficial ou análise visual.

Dentre as classificações, ressalta-se que a qualidade do revestimento cerâmico, no que se refere à massa, está ligada à sua absorção de água. Pela norma brasileira NBR 13818 (norma ISO DIS 13006), os grupos de absorção de água são codificados da seguinte forma:

Prensadas - A massa granulada com baixo teor de umidade é colocada num molde com formatos e tamanhos definidos, para em seguida ser submetida a altas pressões através de prensas de grande tonelagem.

Extrudadas - A massa plástica é colocada numa extrusora também conhecida como maromba, onde é compactada e forçada por um pistão ou eixo helicoidal, através de bocal com determinado formato. Como resultado obtém-se uma coluna extrudada, com seção transversal com o formato e dimensões desejadas que, em seguida, é cortada.

### 2.2.1 Revestimentos

A cerâmica de revestimentos é uma mistura de argila e outras matérias primas inorgânicas, queimadas a altas temperaturas, utilizadas em larga escala na arquitetura. A sua aplicação para este fim teve início com as civilizações do Próximo Oriente e na Ásia. Na arquitetura europeia, o revestimento cerâmico apareceu com os primeiros edifícios de tijolo ou pedra. O seu uso na arquitetura foi tanto de um apelo decorativo, como de necessidades funcionais. Resultante das suas características, o azulejo torna as residências mais frescas e reduz os custos de conservação e manutenção, já que é refratário à ação do sol e impede a corrosão das paredes pela umidade (SANTOS e FILHO, 2008).

De acordo com Norton (1973), as placas cerâmicas para revestimentos compreendem aqueles materiais usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos e bancadas, tais como pisos, porcelanatos, azulejos, placas ou ladrilhos, pastilhas e são classificadas, em função da absorção de água, da seguinte maneira:

- a) Porcelanatos: de baixa absorção e resistência mecânica alta (0 a 0,5%).
- b) Grés: de baixa absorção e resistência mecânica alta (0,5 a 3%).
- c) Semi-Grés: de média absorção e resistência mecânica média (3 a 6%).

- d) Semi-Porosos: de alta absorção e resistência mecânica baixa (6 a 10%).
- e) Porosos: de alta absorção e resistência mecânica baixa (acima de 10%).

#### 2.2.1.1 Porcelanato

Porcelanato é o termo que se refere às características técnicas do produto que substancialmente lembram às das porcelanas (PALMONARI e TIMELLINI, 1989). Uma característica marcante desse produto é o baixo grau de absorção de água, quando comparados aos outros tipos de placas cerâmicas, sendo da ordem de 0% a 0,5%.

Esse tipo de característica reflete de maneira direta, o grau de porosidade do produto, ou seja, quanto menor o teor de absorção de água, menor o índice de porosidade e, conseqüentemente, maior a compacidade do produto (Figura 2), apresentando, dessa forma, características mecânicas superiores (MALISKA, 2000).

**Figura 2** – Porcelanato aplicado em piso



Disponível em: <http://reformandonossoape.blogspot.com>.

No que diz respeito ao aspecto dimensional, durante o processo de sinterização do porcelanato, por volta de 1250 °C ocorrem retrações no produto que aumentam à medida que a temperatura aumenta. Este comportamento é consequência da grande quantidade de fase líquida formada, promovida pela presença de materiais fundentes na massa. Dessa forma, tal variação deve ser verificada em função da área superficial da peça. Quanto à resistência a flexão,

- uniformidade de cores;
- impermeabilidade;
- facilidade de manutenção;
- amplas possibilidades de composições.

De maior significado foi a transformação do grés porcelanato em um material de características modernas e versáteis, através do processo de polimento e da introdução de técnicas de decoração. O desenvolvimento deste tipo de produto foi de grande significado, pois estendeu o uso da cerâmica para locais de domínio das pedras naturais, que possuem uma resistência à abrasão mais elevada do que produtos cerâmicos esmaltados (HECK, 1996).

#### *2.2.1.3 Azulejo*

Segundo Callado (2005), o termo azulejo designa uma peça de cerâmica de pouca espessura, geralmente quadrada, em que uma das faces é vidrada, resultado da cozedura de um revestimento geralmente denominado como esmalte, que se torna impermeável e brilhante. Esta face pode ser monocromática ou policromática, lisa ou em relevo. O azulejo é geralmente usado em grande número como elemento associado à arquitetura em revestimento de superfícies interiores ou exteriores ou como elemento decorativo isolado.

Com diferentes características, este material tornou-se um elemento de construção divulgado em diferentes países, assumindo-se em Portugal como um importante suporte para a expressão artística nacional ao longo de mais de cinco séculos, nos quais o azulejo se transcende para algo mais do que um simples elemento decorativo de pouco valor intrínseco.

No azulejo, além da luz, reflete o repertório do imaginário português, a sua preferência pela descrição realista, a sua atração pelo intercâmbio cultural. De forte sentido cenográfico descritivo e monumental, o azulejo é considerado hoje como uma das produções mais originais da cultura portuguesa, onde se dá a conhecer, como num extenso livro ilustrado de grande riqueza cromática, não só a história, mas também a mentalidade e o gosto de cada época (CALLADO, 2005).

Atualmente, a procura por azulejos tem se dado menos por seu valor decorativo e mais por suas características impermeabilizantes, sendo muito utilizados em cozinhas, banheiros e demais áreas hidráulicas (Figura 4).

**Figura 4** – Azulejo decorado



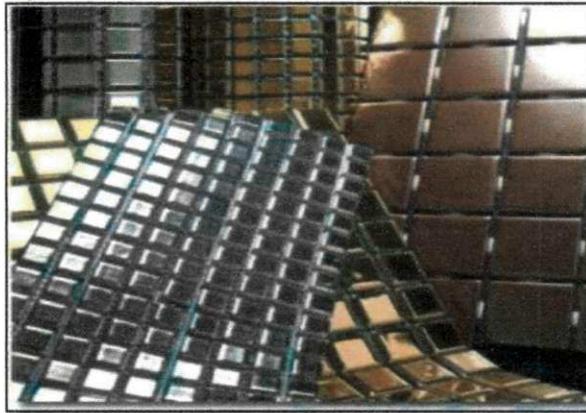
Disponível em: <http://museudoazulejo.com.br>.

#### 2.2.1.4 Pastilhas

Desde os anos de 1950, as pastilhas fazem parte da arquitetura de várias cidades. Naquela época, usar pastilhas cerâmicas era sinônimo de luxo e privilégio para poucos. Em meados dos anos 80, as pastilhas ressurgem com força total, em composições clássicas e nas versões fosca, brilhante e texturizada. A versatilidade e a sofisticação foram os atributos que fizeram com que arquitetos resgassem este tipo de revestimento para diferenciar suas criações, passando a aplicá-las tanto em fachadas como em pisos e paredes internas (ANFACER, 2010).

As pastilhas como apresenta a Figura 5, evoluíram no “design”, na variedade de materiais, de cores, de texturas e, hoje, mais de meio século depois, continuam sendo o “xodó” de muitos arquitetos e decoradores, pois permitem criar ambientes versáteis e ao mesmo tempo sutis ou arrojados.

**Figura 5** – Alguns tipos de pastilhas de vidro



Disponível em: <http://www.vidrado.com>

O desejo constante dos consumidores pela utilização das pastilhas obrigou os fabricantes a investir pesadamente no desenvolvimento de novos modelos, não só na aparência, mas também na funcionalidade como bordas arredondadas (não cortam) e no desenvolvimento de colas mais aderentes (argamassas específicas). Nos dias de hoje, as opções de pastilhas são inúmeras: existem as pastilhas cerâmicas, pastilhas de porcelana, pastilhas de vidro, pastilhas de vidro com resina, pastilhas de Inox, pastilhas de fibra de coco, entre outras (ANFACER, 2010).

#### *2.2.1.5 Placas ou Ladrilhos*

Os ladrilhos cerâmicos são placas finas de argilas e/ou outras matérias primas inorgânicas e são geralmente utilizadas como revestimentos de pavimentos e paredes, usualmente conformadas por extrusão ou prensagem à temperatura ambiente (podendo ser moldadas por outros processos), em seguida secas e subsequentemente cozidas a temperaturas suficientes para se obterem as propriedades requeridas (FREITAS, SOUSA e SILVA, 2003).

Os ladrilhos cerâmicos são produzidos numa gama muito variada de características, em função das matérias primas utilizadas e dos métodos e processos de fabricação, onde são conformados por extrusão ou prensagem. Geralmente de coloração vermelha, mas podem ser coloridos com pigmentos resistentes a ácidos e ao desgaste (Figura 6) (MORAIS, 2007).

**Figura 6 – Ladrilhos**

Disponível em: <http://www.pedrasmaia.com.br>.

### 2.2.2 Revestimento Compósito

A tecnologia requer frequentemente componentes com propriedades que só podem ser alcançadas em combinações de materiais. Por exemplo, para aplicações aeroespaciais são necessários materiais que conjuguem baixa densidade, resistência mecânica, rigidez, tenacidade, resistência ao desgaste e à corrosão. Algumas destas características excluem-se mutuamente nos materiais tradicionais. É então necessário recorrer a compósitos, os quais são frequentemente constituídos por materiais de diferentes grupos (metais, cerâmicos, polímeros) (LIMA, 1987).

Os materiais compósitos aliam a leveza, rigidez e resistência, aos preços de produção relativamente baixos. Um material compósito é um material de que associa na mesma massa as propriedades de materiais de natureza diferente, de tal modo que se obtenha uma melhoria das “performances” de cada material considerado individualmente, sob o ponto de vista de propriedades físicas, químicas ou de resistência mecânica.

Dentre os materiais compósitos usados como revestimento destacam-se os pisos de alta resistência e os pisos flexíveis (vinílicos ou à base de resinas com malha estruturante em poliéster ou juta), sendo possuidores de propriedades antiderrapantes, condutivas, baixa porosidade, durabilidade, e flexibilidade como, por exemplo, o Absolute Tetalsafe que possui um agente bacteriostático incorporado em suas camadas, garantindo imunidade à proliferação de bactérias (Figura 7) (HADDA e SAMPAIO, 2006).

**Figura 7** – Piso vinílico linha Absolute Tetalsafe aplicado em ambiente hospitalar



Disponível em: <http://acervodeinteriores.com.br>.

Os pisos vinílicos são materiais produzidos a partir do PVC e apresentados no mercado através de placas, pisos semiflexíveis ou mantas, que são adaptados para aplicação em qualquer ambiente interno tais como residências.

De acordo com Simões e Leite (1997), o piso vinílico é composto por resina de PVC ou de copolímeros de cloreto de vinila ou ambos, plastificantes, estabilizantes, aditivos, cargas inertes e pigmentos. No caso das mantas flexíveis pode haver a associação das mesmas a uma manta de fibra de vidro, que aumenta a estabilidade dimensional do produto. Na categoria dos pisos semiflexíveis, há ainda ladrilhos que podem ser constituídos por fibra de amianto. Os pisos vinílicos podem apresentar características interessantes, tais como: oferecem facilidade, economia e rapidez na sua aplicação, são versáteis, podendo ser aplicados em diferentes ambientes, resistência comprovada com relação à dureza e impacto, boa resistência a agentes químicos tais como bases, sais e ácidos.

#### 2.2.2.1 Silestone®

Silestone® é uma pedra artificial especialmente aplicada na decoração, e, mais especificamente, para a produção de bancadas de cozinha, placas, banheiros, mesas, e também pode ser usado em pisos, escadas ou similares. A fabricante deste produto é Cosentino AS, situada no município de Macael na

região de Almanzora, Almería, Espanha. Trata-se de um grupo de caráter familiar e inteiramente da capital espanhola, com a fabricação, produção e difusão de centros de gestão em todo o mundo. Sendo líder mundial na produção de superfícies de quartzo, o Silestone® é seu principal produto (SANCHÉZ, 2009).

De acordo com sua patente (Publicação nº PT-2187313), Silestone® é feita com base nos seguintes materiais:

- Resina de poliéster insaturada, entrando em uma taxa de 7% a 14% da massa total.
- Silica micronizada com um tamanho de partícula inferior a 60µm, entrando em uma percentagem de 21% a 24% da massa total.
- Silica de 0,1-0,3 mm, entrando com um percentual de 10% para 32% a massa total.
- Silica de 0,3-0,8 mm, entrando com um percentual de 58,7% da massa total.
- Silica de 1,0 a 2,5 mm, entrando em uma taxa de 40% em massa total.
- Cristais transparentes e coloridos com tamanhos de partículas entre 0,1mm a 6,0 mm, em diferentes porcentagens de massa.
- Espelho de vidro com tamanhos de partículas entre 0,1 mm a 6,0 mm em diferentes porcentagens em massa.
- Granito triturado, também em diferentes granulometrias e percentuais.
- Quartzo em diferentes granulometrias e percentuais.
- Ferro-silício em diferentes granulometrias e percentuais.

Além disso, o produto fabricado suporta muitos tipos diferentes de materiais como plásticos, mármore, metal ou similares.

A diversidade de cores é conseguida através de corantes e pigmentos, principalmente óxidos inorgânicos (ferro ou similar), entrando em uma taxa de 4,0 % sobre o peso da resina.

#### 2.2.2.1.1 Endurecimento da Resina

O endurecimento da resina é conseguido com um catalisador, o peróxido orgânico (perbenzoate terc-butílico), que atua a 80°C, entrando em uma taxa de 2% sobre peso da resina.

Como ligante, entre a resina de poliéster e a carga (sílica vítrea), é usado um silano de fórmula 3-Metacriloxipropiltrimetoxisilano (MPTMS), entrando em uma taxa de 0,6% a 2,0% do peso da resina (Ficha de Dados de Segurança do Silestone®, 2009).

Trata-se de um produto que utiliza materiais e pedras descartados em mármore. Após o processo de fabricação, perfeitamente integrados em uma cadeia de produção, obtém-se um material uniforme em toda sua extensão e espessura como mostrado na Figura 8, possuindo uma grande resistência e imponência.

**Figura 8 - Material Silestone®.**



Disponível em: [www.cosentinogroup.net](http://www.cosentinogroup.net)

#### 2.2.2.1.2 Processo de Fabricação

São tomadas as seguintes fórmulas em seu processo de fabricação, embora estas variem de acordo com os materiais utilizados para a placa como mostram as Tabelas 1 e 2:

**Tabela 1 - Composição geral do Silestone®**

SUBSTÂNCIA	COMPOSIÇÃO (%)
Resina de poliéster ortoftálica polimerizada	5-25
Pigmentos	<5
Triturado de Sílica, quartzo, vidro, espelho ou granito	5-95

Disponível em: <http://www.silestone.com>.

**Tabela 2 - Composição de preparação da resina**

<b>MATÉRIA-PRIMA</b>	<b>% SOBRE O PESO DA RESINA</b>
Catalisador	2
Acelerador	0,2
Silano	1
Corante	3,0 (Pigmento)
	0,8 ( Corantes em estado líquido)

### 2.3 Resíduos Sólidos

A Norma da ABNT NBR 10.004 (2004) tem como objetivo geral classificar os resíduos sólidos de acordo com riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

A Norma Brasileira de resíduos é dividida em duas classes, sendo que uma delas possui duas subdivisões: classe I, chamados perigosos e classe II, denominados não perigosos, que por sua vez se subdivide em inertes e não inertes. A grande maioria dos resíduos se enquadra na classe II, por causa dos critérios adotados. Atualmente existe uma grande preocupação por parte das indústrias com a disposição dos resíduos gerados ao longo do processo produtivo. No setor mineral não é diferente, pois este gera grande volume de resíduos.

Laudos técnicos gerados por diversos laboratórios apontam para uma classificação do resíduo em questão como Classe II A ou até II B, sugerindo que os rejeitos da indústria de rochas ornamentais sejam não perigosos (KANG, LIAO e HUNG, 1999).

De qualquer forma, ainda tem-se um grande volume residual a ser reconduzido a um setor industrial ou descartado de forma adequada (SOTTORIVA, 2002).

Esta duplicidade de idéias a respeito da classificação do resíduo rochoso conduz à necessidade de apurar qual das informações é mais coerente e expressiva em relação ao setor, já que de antemão registra-se uma falta de uniformidade na utilização de muitos dos insumos já citados, úteis ao processo (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

Após a serragem ou corte de blocos, as chapas podem passar por um tratamento que objetiva a elevação da resistência aos choques e intempéries e o do seu embelezamento. O resíduo desta etapa é consideravelmente mais aquoso e certamente não deveria ser adicionado ao anteriormente citado, sob pena de estar-se gerando um rejeito ainda mais complexo para ser estudado, caracterizado e destinado. Nesta etapa, pode ocorrer a aplicação de resinas de composição química variada, incluindo orgânicos, o que tende a desvalorizar o rejeito, reduzindo as possibilidades de destinações industriais ou de seu reaproveitamento (GONÇALVES et al., 1999).

Outro foco de impactos ambientais do beneficiamento de blocos de rochas ornamentais é a geração de particulados, que sugere a demanda de um monitoramento inicial, para aplicação posterior de estratégias de mitigação ou extinção dos efeitos gerados, tanto nos empregados, como na população.

De acordo com Mello (2006), o setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos de resíduos:

Retalho de rochas - este tipo de resíduo é proveniente de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes retrazos muitas vezes são jogados no pátio da empresa (Figura 9). Algumas empresas doam estes retrazos, porém outras os retrabalham confeccionando produtos alternativos como, por exemplo, enfeites, puxadores de gavetas e armários.

**Figura 9** - Retraços de granito e mármore



Fonte: Pesquisa Direta, 2010.

Lama de serraria – é a lama proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Esta lama é o resíduo gerado em maior quantidade chegando a atingir entre 30% e 40% em volume dos blocos serrados, conforme Gobbo (2004).

Lama de marmoraria – esta ocorre em forma de finos formatos a partir do processo de recorte, polimento e lustro das peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias. Estas peças também são padronizadas, como placas, revestimentos, peitoris, entre outros. Segundo Gobbo (2004), esta lama é produzida em 2% do total de volume processado.

## **2.4 Materiais Compósitos**

Segundo Kusvuan et al. (2005), um material compósito é formado por uma matriz e uma ou mais fases dispersas, possuindo propriedades que não são obtidas pelos materiais constituintes – matriz e fase dispersa – separadamente. A denominação destes materiais é bastante diversificada, podendo ser tratados na literatura como compostos, conjugados ou compósitos (HULING, BLEDSOE e WHITE, 1990).

Os constituintes dos compósitos estruturais têm funções distintas, sendo um deles responsável por suportar os esforços mecânicos (reforço) e o outro (matriz) responsável por transferir os esforços mecânicos externos para o reforço. Os componentes estruturais podem ser fibrosos ou em forma de partículas como, por exemplo, as fibras de vidro e a areia. As matrizes poliméricas podem ser termoplásticas ou termofixas. A interface reforço-matriz também desempenha um importante papel para os materiais compósitos, pois tem grande influência nas propriedades finais (HULING, BLEDSOE e WHITE, 1990).

### **2.4.1 Matriz Cerâmica**

Os materiais cerâmicos são os mais antigos utilizados pelo ser humano. Mesmo assim, o desenvolvimento dos compósitos de matriz cerâmica tem ficado aquém dos outros tipos de matrizes, principalmente por sua dificuldade de fabricação, que envolve altas temperaturas em suas etapas, sendo

necessária a utilização de reforços que suportem altas temperaturas. Outro motivo é o aparecimento de tensões térmicas, devido à diferença de coeficientes de expansão térmica entre matriz e reforço durante o resfriamento (VENTURA, 2009).

Os principais tipos de compósitos de matriz cerâmica, de acordo com o tipo de reforço usado, são: os de fibras contínuas, os de fibras descontínuas e os reforçados por partículas. As duas principais variedades de fibras contínuas que têm sido usadas nos compósitos de matriz cerâmica são as de carboneto de silício (SiC) e as de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ). Já para as fibras descontínuas (“*whiskers*”) e particulados é utilizado o carboneto de silício (SiC) (MOURISCO, 1995).

Schiavon (2002) afirma que as principais vantagens dos compósitos de matriz cerâmica são sua alta resistência à oxidação e à deterioração sob elevadas temperaturas e sua baixa densidade só é superada pelos polímeros. Podem trabalhar em atmosferas fortes, apresentam melhor resistência à erosão e são quimicamente inertes; mas sua grande desvantagem é a predisposição à fratura fácil, que impede a maioria dos seus usos, como em componentes de motores de turbinas para automóveis e aeronaves.

#### 2.4.2 Resina de Poliéster

Segundo Pereira (2006), os poliésteres são grupos de polímeros obtidos por reação de policondensação entre ácidos dicarboxílicos e poliálcoois. Neste tipo de polímero de cadeia carbônica, a característica principal é a ligação do éster  $-COO-$ . Apresentam boa resistência à corrosão e à ação de agentes químicos, sendo empregados como produtos para recobrimentos de telhas cerâmicas e outras aplicações.

As resinas poliésteres podem ser saturadas ou insaturadas. O poliéster saturado é obtido pela reação entre um diálcool e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples entre os átomos de carbono, o que caracteriza a flexibilidade dos produtos obtidos com este tipo de resina (HARPER, 2001).

O poliéster insaturado é produzido quando qualquer dos reagentes contém insaturações. A denominação insaturado é proveniente da presença de

duplas ligações presentes na sua cadeia molecular. A insaturação do poliéster é fornecida, geralmente, pelo ácido ou anidrido maleico, assim como pelo seu isômero, ácido fumárico (PEREIRA, 2006).

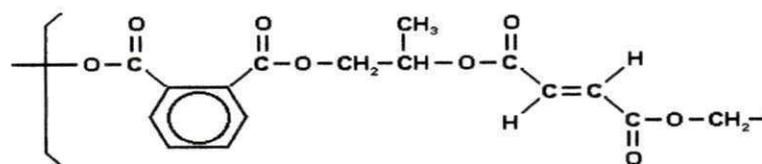
As resinas de poliéster podem ser formuladas para ter uma faixa de propriedades que variam desde frágil e duro até macio e flexível. A viscosidade na temperatura ambiente pode variar desde 50 cP até valores superiores a 25.000 cP. Desta forma, estas resinas podem ser utilizadas para a fabricação de milhares de produtos através de diversas técnicas fabris como moldagem em molde aberto, laminação manual, pulverização, moldagem a vácuo e moldagem por injeção. Através da escolha apropriada de aditivos, resinas de poliéster com propriedades especiais podem ser obtidas. Por exemplo: resistência à ação atmosférica pode ser obtida com o uso de metacrilato de metila (HARPER, 2001).

As resinas poliésteres insaturadas, dependendo de suas características, podem ser utilizadas em ambientes externos ou internos, em pó ou suspensão, como recobrimento de telhas cerâmicas com caráter de proteção, de melhorar a aparência e proporcionar isolamento resultante do intemperismo (MANO, 1986).

De acordo com o Grupo Cosentino (2009), as propriedades mecânicas dos compactados de resíduos de caulim, mármore e granito estão diretamente relacionadas ao tipo e ao teor de resina utilizada. Devem-se evitar contatos prolongados com produtos que contenham acetona, pois afetam a estrutura e as ligações da resina de poliéster, evitando-se especialmente o contato com solventes da família do diclorometano. Evitar o contato com produtos fortemente básicos ( $\text{pH} > 7$ ), tais como a soda cáustica (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH), o que provocaria uma série de reações de substituição na molécula do polímero e ruptura de ligações, que afetariam negativamente a estrutura da resina de poliéster.

A resina ortoftálica é caracterizada por ter como ácido saturado, o ácido ortoftálico que, por sua vez, tem a nomenclatura procedente da posição do grupo carboxílico no anel benzênico, assim representada pela seguinte fórmula da Figura 10:

**Figura 10 - Fórmula Resina de Poliéster Insaturado ortoftálica**



Disponível em: <http://www.silaex.com.br>.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho de pesquisa foi realizada em três etapas: na primeira etapa, os materiais foram beneficiados e caracterizados; na segunda etapa, foram formulados os compósitos e conformados por prensagem; e por fim, foram realizados os ensaios tecnológicos nos corpos de prova e os resultados comparados com os das peças industrializadas, segundo a Norma da ABNT (NBR 13818/ 1997).

#### 3.1 Materiais

Resíduo de Caulim – a amostra utilizada neste trabalho foi proveniente da empresa Armil, localizada no município de Equador, Rio Grande do Norte (Figura 11), e chegaram ensacadas em papel Kraft, e beneficiados em peneira ABNT nº 200, de abertura de 0,74mm.

**Figura 11** - Resíduo de Caulim – Equador-RN



Fonte: COSTA, et al., 2006

Pedras de Granito e Mármore - Os retrazos de pedras de granito e mármore foram cedidos pela empresa Oficina do Granito, localizada no município de Cabedelo, Paraíba (Figura 12).

**Figura 12** - Galpão de produção e corte das placas da Empresa Oficina do Granito



Fonte: Pesquisa Direta, 2010

**Resina** - A resina de poliéster ortoftálica **UCEFLEX UC 2636** foi doada pela empresa Elekeiroz, localizada na cidade de Várzea Paulista/SP, devidamente preparada, necessitando apenas ser incorporada nos compósitos. A utilização foi realizada seguindo as recomendações dos fabricantes. A Tabela 3 apresenta as especificações da resina utilizada.

**Tabela 3** - Especificações resina poliéster UCEFLEX UC 2636

VARIÁVEIS	UNIDADE	VALORES
Viscosidade (25°C)	cP	1.000 – 1.500
Gel – Time <sup>(1)</sup> (25°C)	Mínimo	9 – 15
Teor de Estireno	%	35 máxima.
Índice de Tixotropia (25°C)	-	1,15 mínimo

(1) Catálise para obtenção do gel-time: 100g de resina pura à 25°C, com 0,9 c.c. de peróxido de metilil cetona (PMEK) e 0,6 c.c. de Cobalto a 6%

Fonte: Boletim Técnico Elekeiroz – [www.elekeiroz.com.br](http://www.elekeiroz.com.br)

**Silano** – A Solução etanólica de 3-metacriloxipropiltrimetoxisilano hidrolizado foi cedido pela Empresa FGM - Produtos Odontológicos, localizada na cidade de Joinville, Santa Catarina. O silano é usado como agente de união química em processos de adesão e cimentação de peças em cerâmica, cerômero, resina laboratorial e pinos de fibra de vidro (<http://www.fgm.ind.br/site/produtos>).

**Silicone e Vaselina** – Para desmolde das placas do molde foi utilizado silicone automotivo da marca Carnu, e vaselina líquida da Drogaria Minas-Brasil, adquiridos no comércio local.

**Catalisador** – O peróxido orgânico perbenzoato de terc-butila foi doado pela empresa Polinox do Brasil, localizada na cidade Itupeva – São Paulo. Este catalisador é um iniciador de cura para processos de prensagem à quente em molde fechado (MENDONÇA, 2005). A Tabela 4 apresenta as propriedades físico-químicas do material utilizado.

**Tabela 4- Propriedades típicas Brasnox® TBPB**

<b>PROPRIEDADES TÍPICAS</b>	
Aspecto	Líquido incolor levemente amarelado
Oxigênio Ativo (%)	>8.07
Concentração (%)	>98,0
Densidade (g/cm <sub>3</sub> ,25°C)	1,04
Solúvel	Alcoóis, ésteres, cetonas, hidrocarbonetos clorados
Insolúvel	Água
Parcialmente solúvel em	Glicóis
SADT (Temperatura de Decomposição em Auto-aceleração)(°C)	60
Temperatura de Estocagem (°C)	25

Fonte: Boletim Técnico Elekeiroz – [www.elekeiroz.com.br](http://www.elekeiroz.com.br)

### **3.2 Beneficiamento e Caracterização dos Materiais**

As placas industrializadas (silestone), foram beneficiadas manualmente, sendo trituradas e passadas em peneira de 0,074mm de abertura (ABNT nº 200). Já o resíduo de caulim utilizado nesta pesquisa não necessitou ser beneficiado.

Os resíduos de mármore e granito, foram submetidos à moagem a seco, em moinho de galgas no Laboratório de Solos da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UAEC) e no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMA), ambos da Universidade

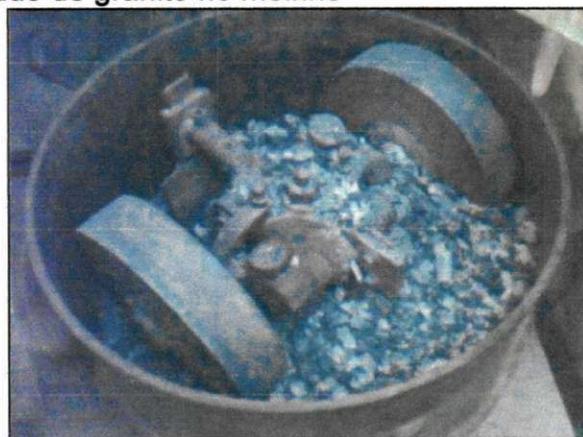
Federal de Campina Grande (UFCG), e posteriormente beneficiados em peneira de 0,074mm de abertura (ABNT nº 200) (Figuras 13 e 14).

**Figura 13** - Colocação do resíduo de mármore no moinho



Fonte: Pesquisa Direta, 2010

**Figura 14** – Resíduo de granito no moinho



Fonte: Pesquisa Direta, 2010

### **3.3 Caracterização dos Materiais**

Foram utilizadas as seguintes técnicas de caracterização: Análise Térmica Diferencial (DTA), Análise Termogravimétrica (TGA); Difração de raios-X (DRX); Análise Granulométrica a Laser e Fluorescência de raios-X. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização da UAEMa/UFCG.

Análise Termogravimétrica e Análise Térmica Diferencial (TGA/DTA) – Estas técnicas foram utilizadas com a finalidade de estudar o comportamento térmico dos materiais estudados. As curvas TGA/DTA foram obtidas com utilização de massa de  $5,0 \pm 0,5$  mg, sendo acondicionadas em cadinhos de alumina, com razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , numa faixa de temperatura da ambiente a  $1000^{\circ}\text{C}$ , e utilizou-se atmosfera dinâmica de nitrogênio, com vazão de  $50\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . Para estes ensaios foi utilizado o equipamento Shimadzu Modelo DTGA 60H, do Laboratório de Análise Térmica da UAEMA/UFCG.

Difração de Raios-X (DRX) – Visando determinar e quantificar as fases cristalinas presentes nos materiais estudados foi usado um difratômetro de Raios-X da Shimadzu, modelo XRD 6000, do Laboratório de Caracterização de Materiais da UAEMA/UFCG. Os difratogramas foram obtidos com radiação  $K\alpha$  de Cu, entre ângulos  $5^{\circ} \leq 2\theta \leq 50^{\circ}$ , com velocidade de varredura de  $2^{\circ}\text{min}^{-1}$ , voltagem de 40kV e corrente de 30mA.

Análise Granulométrica a Laser – A análise granulométrica é de importância primordial para uma completa e precisa caracterização das matérias-primas, considerando que em materiais argilosos a granulometria influencia no processamento e nas propriedades finais do material. A distribuição granulométrica das matérias primas pulverulentas foi realizada com faixa 0.04  $\mu\text{m}$  – 500.00  $\mu\text{m}$ /100 Classes; CILAS 1064 Líquido.

Fluorescência de Raios-X – Visando obter a composição em óxidos dos materiais estudados foi utilizado equipamento Shimadzu X-Ray Fluorecence Spectrometer, modelo (EDX – 700/800/900 series), pelo método da pastilha. Foram obtidas as determinações dos seguintes óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , entre outros. As perdas ao fogo destes materiais foram obtidas utilizando das curvas TGA.

### 3.4 Formulações dos Compósitos de Matriz Cerâmica

Para formulação dos compósitos foram utilizados os resíduos de caulim, mármore e granito (Figura 15) em proporções iguais, e a resina preparada previamente. No preparo da resina foi acrescentado o catalisador peróxido orgânico (perbenzoato terc-butílico), entrando em uma taxa de 2% sobre o peso da resina.

Em seguida foram misturados manualmente os resíduos secos, e acrescentado a estes, o silano 3-metacriloxipropiltrimetoxisilano, na proporção de 0,6 a 2% em peso da resina, por aproximadamente 5 min até se obter uma massa homogênea (Figura 16).

**Figura 15** – Resíduos de caulim, mármore e granito beneficiados



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

**Figura 16** – Mistura dos resíduos e resina



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

Foram formuladas inicialmente 36 (trinta e seis) composições variando-se a quantidade de resina e resíduo. De acordo com a quantidade de resina (40ml, 45ml e 50ml) foram formados três grupos, que tiveram as massas dos resíduos variando entre 90, 100, 110 e 120g. Utilizou-se tempos de processamento de 40, 50 e 60min, conforme tabela encontrada no Apêndice A. Após estudo detalhado dos compósitos e através de uma análise visual foi escolhido as 12 composições com um tempo de processamento de 60min, conforme nomenclatura apresentada na Tabela 5. Onde, por exemplo, **A40R9T60** significa: **A40**, amostra com 40ml de resina, **R9**, resíduo de 90g, e **T60**, tempo de 60 min.

**Tabela 5 – Nomenclatura utilizada para as amostras estudadas**

GRUPOS	NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA / RESÍDUOS/ 60min)
1	A40R9T60	40ml / 90g
	A40R10T60	40ml / 100g
	A40R11T60	40ml / 110g
	A40R12T60	40ml / 120g
2	A45R9T60	45ml / 90g
	A45R10T60	45ml / 100g
	A45R11T60	45ml / 110g
	A45R12T60	45ml / 120g
3	A50R9T60	50ml / 90g
	A50R10T60	50ml / 100g
	A50R11T60	50ml / 110g
	A50R12T60	50ml / 120g

### 3.5 Conformação das Placas

Para a conformação das placas de matriz cerâmica foi utilizado um molde de ferro, com dois compartimentos, onde cada um possui dimensões de 100x100x10mm (Figura 17). Após a deposição do material no molde foi efetivada a prensagem à quente em prensa hidráulica, Marca SOMAR, com carga de 14 toneladas e temperatura de 85°C, com variações de tempo de 40, 50 e 60 min, (Figura 18). Após a prensagem, as placas foram cortadas com serra manual (Maquita), para preparação dos corpos de prova, e posterior

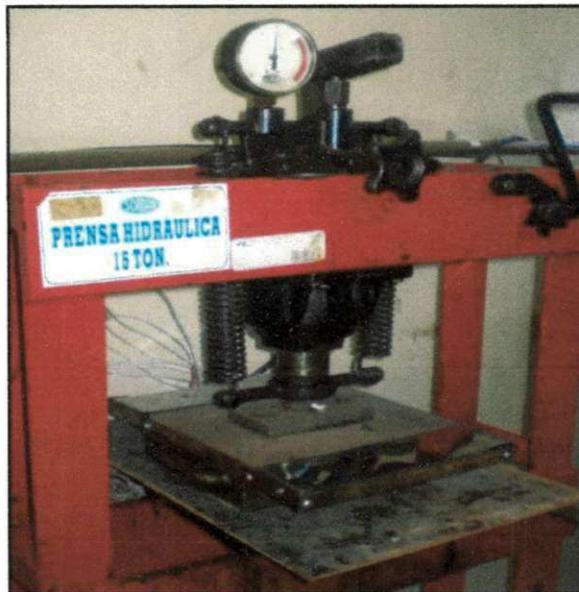
realização dos ensaios físico-mecânicos. De cada placa resultou 5 (cinco) corpos de prova (Figura 19) de 100x20x10mm. A confecção e o corte das placas foram realizados no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

**Figura 17** – Molde de ferro com divisão das placas e deposição da massa cerâmica



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

**Figura 18** – Prensa hidráulica SOMAR



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

**Figura 19 –** Corpos de prova

Fonte: Pesquisa Direta, 2011

### 3.6 Ensaio Tecnológicos e de Caracterização para Avaliação dos Corpos de Prova

As dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios físicos-mecânicos (absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência a flexão estática) seguiram as recomendações da norma da ABNT NBR 13818/1997 como ilustra o Quadro 1.

**Quadro1 –** Dimensões dos corpos de prova para os ensaios físicos-mecânicos

<b>ENSAIOS DE AVALIAÇÃO</b>	<b>DIMENSÕES (comprimento x largura)</b>
<b>Ensaio físico</b>	
• Absorção de água	100x100 mm
• Porosidade Aparente	100x20 mm
• Massa específica aparente	100x100 mm
<b>Ensaio mecânico</b>	
• Resistência a flexão	100x20 mm

Como apresentado no Quadro1, os ensaio de porosidade aparente e flexão em três pontos foram realizados em corpos de prova com dimensões de 100 x 20 mm. Os demais utilizaram corpos de prova com 100 x 100 mm, todos com altura de 10 mm. Cada ensaio foi repetido cinco vezes e o resultado reportado à média dessas repetições.

Absorção de Água (AA) - É o valor em porcentagem, da massa de água absorvida pelo corpo após sinterização. O ensaio de absorção de água foi realizado da seguinte forma: os corpos cerâmicos foram pesados em balança analítica. Consecutivamente, foram submersos em água destilada por 24 horas em recipiente de vidro (Figura 20 e 21). Após esse tempo, foram retirados do recipiente e removidos os excessos de água superficial com papel absorvente e imediatamente pesados para verificação de suas novas massas.

O valor de absorção da água, em percentual mássico, foi obtido através da Equação 1.

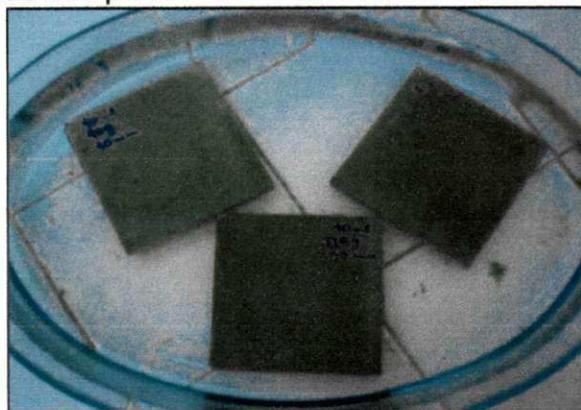
$$AA(\%) = \frac{M_u - M_q}{M_q} \times 100 \quad (1)$$

Em que, AA é a absorção de água em porcentagem;  $M_u$  é a massa do corpo de prova saturado em água;  $M_q$  é a massa do corpo de prova seco. Após o cálculo da absorção de água de cada corpo de prova, foi tirada a média aritmética dos valores para cada grupo.

**Figura 20** – Placas pesadas em balança analítica



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

**Figura 21 – Imersão das placas**

Fonte: Pesquisa Direta, 2011

Porosidade Aparente (PA) - O cálculo da porosidade aparente fornece o provável percentual do volume de poros abertos, após a sinterização dos corpos de prova em relação ao seu volume total. A obtenção desse valor foi calculada da seguinte forma: após a realização das pesagens dos corpos de prova, para o cálculo da absorção de água, também foi medida a massa dos corpos de prova imersos, pelo método da balança hidrostática (Figura 22).

De posse dos três valores,  $M_u$ ,  $M_q$  e massa do corpo imerso ( $M_i$ ), foi utilizada a Equação 2, para a obtenção do valor, em percentual, da porosidade aparente.

$$PA(\%) = \frac{(M_u - M_q)}{M_u - M_i} \times 100 \quad (2)$$

Sendo  $PA$ , o valor calculado da porosidade aparente e  $M_i$ , a massa do corpo de prova imerso em água.

**Figura 22 – Pesagem dos corpos de prova em balança hidrostática**



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

**Massa Específica Aparente (MAE)** - A massa específica aparente (MAE) é a razão entre massa do corpo de prova seco e seu volume ou ainda a razão entre o peso seco e a diferença entre o peso saturado e o peso imerso, como mostra a Equação 3:

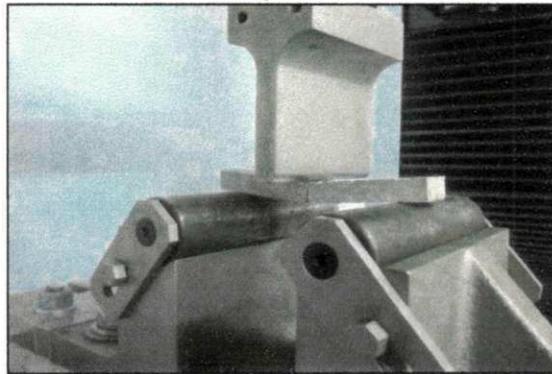
$$MAE(g/cm^3) = \frac{M_q}{M_u - M_i} \times 100 \quad (3)$$

**Tensão de Ruptura a Flexão em Três Pontos (TRF)** - A tensão de ruptura refere-se à resistência do material à flexão simples pelo método dos três pontos, segundo o método proposto por VICAT. Para a medida desta propriedade, foi utilizada uma máquina Lloyd LR-10KN (Figura 22). Para obtenção dos resultados foram realizados ensaios em cinco corpos-de-prova, sendo que o valor final foi dado pela média aritmética desses valores. A Equação 4 fornecerá os resultados:

$$TRF(kgf/cm^2) = \frac{3PL}{bh^2} \quad (4)$$

Onde: TRF é a tensão de ruptura a flexão; P é a carga atingida no momento da ruptura (N); L é a distância entre os apoios (mm); b é a largura do corpo de prova (mm) e h a altura do corpo de prova.

**Figura 23 – Ensaio de flexão em três pontos**



Fonte: Pesquisa Direta, 2011

Análise Termogravimétrica e Análise Térmica Diferencial (TGA/DTA) – Estas técnicas foram utilizadas com a finalidade de estudar o comportamento térmico dos materiais estudados. As curvas TGA/DTA foram obtidas com utilização de massa de  $3,2 \pm 0,5$  mg, sendo acondicionadas em cadinhos de alumina, com razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , numa faixa de temperatura da ambiente a  $1000^{\circ}\text{C}$ , e utilizou-se atmosfera dinâmica de nitrogênio, com vazão de  $100\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . Para estes ensaios foi utilizado o equipamento TA-STRUMENTS Modelo SDT Q600, do Laboratório de Análise Térmica da UAEMA/UFCG.

**CAPÍTULO IV**  
**Resultados e Discussão**

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização dos Materiais

#### 4.1.1 Análise Química

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da composição química e cálculo da perda ao fogo dos resíduos de caulim, mármore, granito e da placa de silestone.

**Tabela 6** - Composição química dos resíduos de beneficiamento do caulim, mármore, granito e do silestone

AMOSTRA DOS RESÍDUOS	DETERMINAÇÕES%									
	PF*	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Outros Óxidos
Caulim	2,8	52,2	39,9	0,5	3,0	---	1,2	---	---	0,3
Granito	18,0	28,3	9,3	5,5	2,8	30,2	3,1	0,9	---	1,8
Mármore	44,0	20,0	0,4	0,3	0,1	41,0	12,0	---	---	---
Silestone	27,0	66,0	2,3	0,6	0,1	1,5	0,3	1,6	0,7	0,3

\*Perda ao Fogo à temperatura de 1000°C (TGA/DTGA)

De acordo com a Tabela 6, verifica-se que o resíduo de caulim apresenta alto teor de óxido de silício, SiO<sub>2</sub>, (52,2%) e óxido de alumínio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (39,9%), que são provenientes da sílica livre e combinada. O óxido de potássio, (K<sub>2</sub>O) e o óxido de magnésio, (MgO) são provenientes da mica. O percentual de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no caulim foi de 0,5, o que permite a utilização do mesmo como matéria prima para revestimentos. Estes resultados corroboram com os obtidos por SILVA, VIDAL e PEREIRA (2001), que foram de 0,2 a 1,0%.

Na análise química do mármore, observa-se a presença significativa do óxido de cálcio, CaO (41,0%) já considerando a perda ao fogo de 44,0%. Para o mármore, a PF é alta, sendo superior a 25,0% e caracterizado pela presença de CaO e MgO, predominantes em rochas carbonáticas. Segundo Mello (2006), é viável apenas uma quantidade limitada de 16,0% em massas cerâmicas, devido à queda de desempenho com a sua adição, comprometendo o aspecto superficial.

Para o resíduo de granito observa-se a presença em maior quantidade de óxido de cálcio (CaO) com 30,2% e ainda a presença de sílica (SiO<sub>2</sub>) com 28,3%, alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 9,3% e óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 5,5%, que

corroboram com os dados de Ribeiro (2007), indicando que o granito analisado é proveniente de rochas silicáticas sobretudo pelos altos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

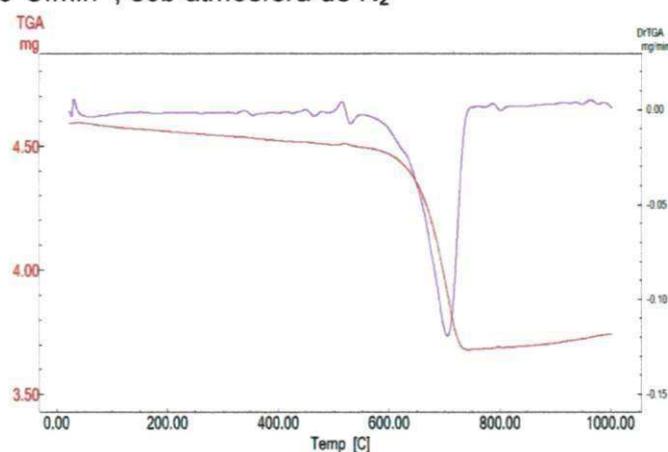
O silestone apresentou maior percentual de  $\text{SiO}_2$  (66,0%) e de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2,3%), os demais componentes  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  apresentaram valores inferiores a 2,0%.

#### 4.1.2 Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial (TGA/DTA)

##### 4.1.2.1 Termogravimetria e Termogravimetria Derivada (TGA/DTGA)

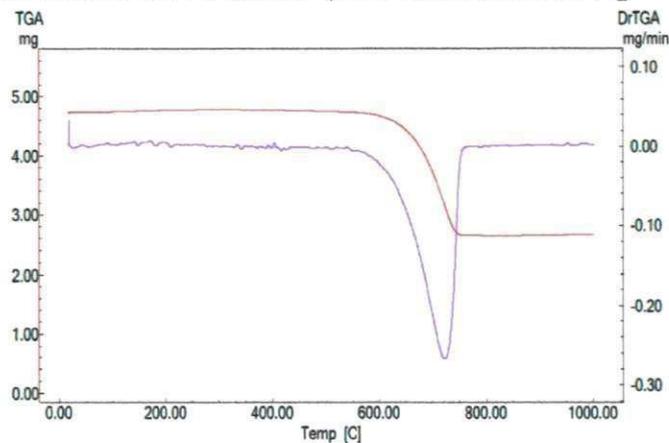
Nas Figuras 23, 24 e 25 são apresentadas as curvas da TGA/DTGA do granito, mármore e do silestone obtidas à razão de aquecimento de  $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .

**Figura 24** - Curvas TGA/DTGA do resíduo de granito, obtidas a razão de aquecimento de  $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



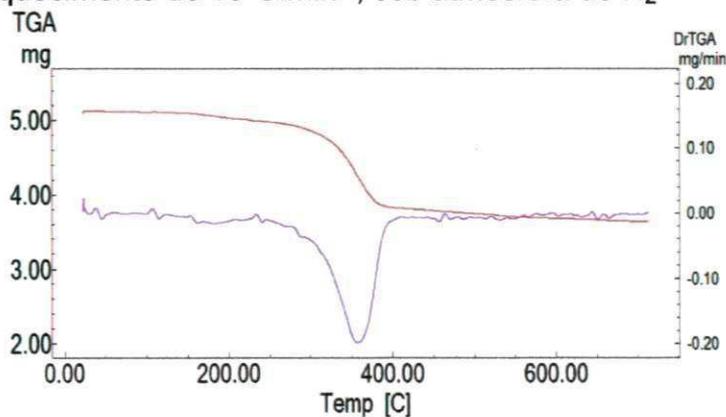
As curvas TGA/DTGA da Figura 24 apresentam duas etapas de decomposição, com perda de massa inicial de 1,0%, entre as temperaturas de  $20^\circ\text{C}$  e  $432^\circ\text{C}$ , referente à perda de água livre e água adsorvida, seguida, de uma maior perda em torno de 18,0%, entre as temperaturas de  $432^\circ\text{C}$  e  $742^\circ\text{C}$ , referente à decomposição do carbonato de cálcio.

**Figura 25** - Curvas TGA/DTGA do resíduo de mármore, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



A Figura 25 apresenta as curvas TGA/DTGA do resíduo de mármore, na qual se observa apenas uma etapa de decomposição com perda de massa em aproximadamente 44%, entre  $495^{\circ}\text{C}$  e  $836^{\circ}\text{C}$ , que correspondente a decomposição ao carbonato de magnésio, seguida pela decomposição do carbonato de cálcio e sódio.

**Figura 26** - Curvas TGA/DTGA da placa cerâmica silestone, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



A Figura 26 apresenta as curvas TGA/DTGA da placa de silestone, na qual observa-se duas etapas de decomposição, sendo a primeira no intervalo de temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$  a  $230^{\circ}\text{C}$ , com perda de massa de 2,4%, referente a uma possível volatilização dos solventes. Entre  $230^{\circ}\text{C}$  e  $708^{\circ}\text{C}$  ocorre a maior perda de massa em torno de 26,8% referente à decomposição da resina presente na placa de silestone.

A Tabela 7 apresenta os dados da decomposição térmica dos resíduos de mármore, granito e da placa de silestone juntamente com suas faixas de temperatura e perda de massa.

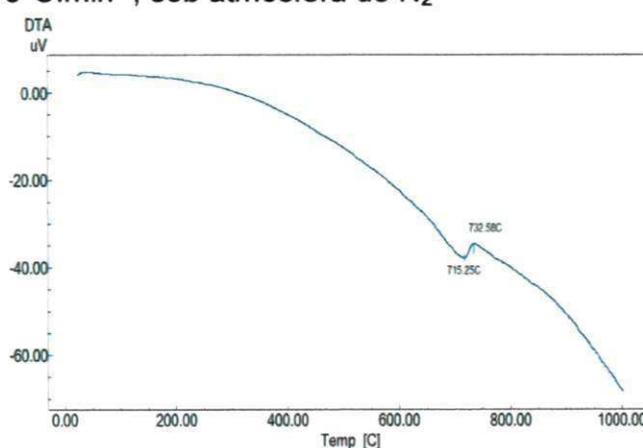
**Tabela 7** - Dados da decomposição térmica dos resíduos estudados a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$

AMOSTRA	ETAPAS DE DECOMPOSIÇÃO	FAIXA DE TEMP. ( $^{\circ}\text{C}$ )	TEMPERATURA DE PICO ( $^{\circ}\text{C}$ )	PERDA DE MASSA (%)	PERDA DE MASSA mg
<b>Granito</b>	1	20 - 432	281	1,8	0,1
	2	432 - 742	687	18,0	0,8
<b>Mármore</b>	1	495- 836	700	44,0	2,0
<b>Silestone</b>	1	35 - 230	181	2,4	0,1
	2	230 - 708	352	26,8	1,4

#### 4.1.2.2 Análise Térmica Diferencial (DTA)

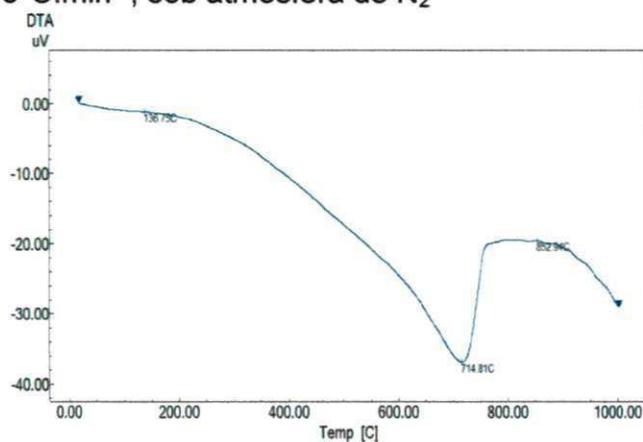
As Figuras 27, 28 e 29 apresentam as curvas DTA dos resíduos de granito, mármore e da placa de silestone.

**Figura 27** - Curva DTA do resíduo de granito, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



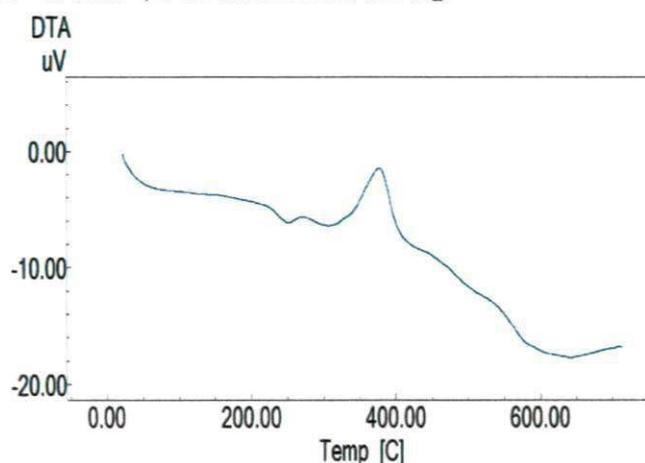
Na curva DTA do granito, pode-se observar um evento endotérmico em torno de  $716^{\circ}\text{C}$  e exotérmico de aproximadamente  $732^{\circ}\text{C}$ , que poderá ser atribuído à formação de novas fases cristalinas (silicatos) após a decomposição da calcita e da dolomita.

**Figura 28** - Curva DTA do resíduo de mármore, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



Na curva DTA do mármore é possível observar um pico endotérmico próximo de  $800^{\circ}\text{C}$  que, ao serem confrontados com os resultados da TGA demonstram ser a decomposição dos carbonatos de cálcio e sódio.

**Figura 29** - Curva DTA da placa de silestone, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$

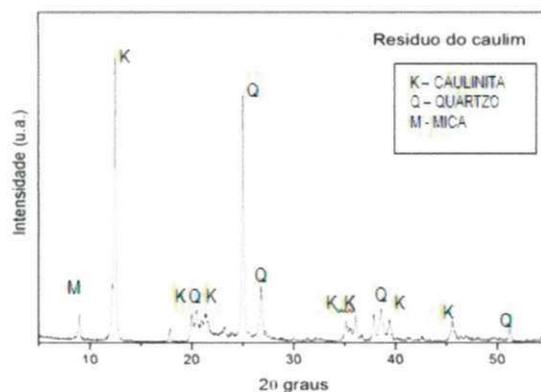


Na curva DTA da placa de silestone apresenta um evento endotérmico em torno de  $251^{\circ}\text{C}$  referente a volatilização da resina, seguido de uma banda exotérmica entre  $377^{\circ}\text{C}$  e  $494^{\circ}\text{C}$  onde o material alcançou a sua degradação.

#### 4.1.3 Difração de Raios-X

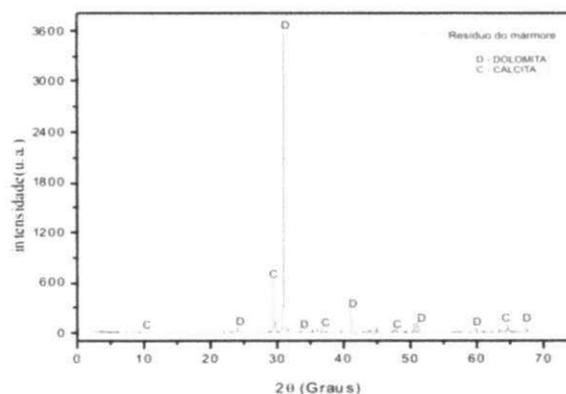
As Figuras 30, 31, 32 e 33 apresentam os difratogramas de raios-x dos resíduos de caulim, mármore, granito e da placa de silestone.

**Figura 30 - Difração de raios-x do resíduo de caulim**



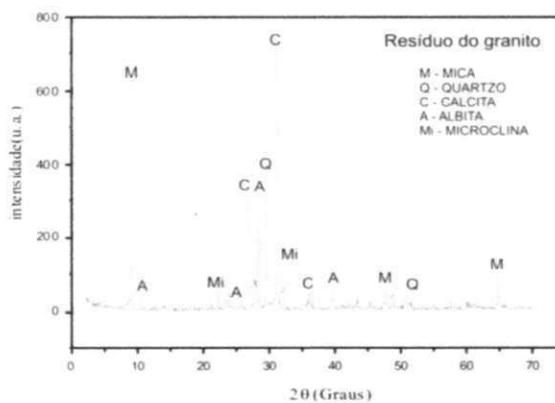
Na Figura 30 verifica-se que o resíduo de caulim apresentou as seguintes fases mineralógicas: caulinita, caracterizada por picos com distâncias interplanares de 7,07 e 3,56Å; quartzo, caracterizado pelas distâncias interplanares de 4,22 e 3,32Å; e mica, com 10,0Å, estes valores corroboram com os fornecidos por SILVA, VIDAL e PEREIRA (2001).

**Figura 31 - Difração de raios-x do resíduo de mármore**



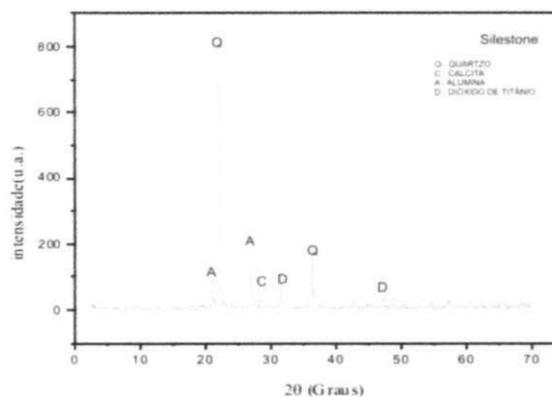
No difratograma do resíduo de mármore, observam-se que os picos cristalinos predominantes são da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e da dolomita ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ), característicos de rochas carbonáticas, sendo composto predominantemente de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ . Este resultado está em consonância com os obtidos por Rêgo (2005) onde o resíduo apresenta composição característica de um mármore dolomítico.

**Figura 32 - Difração de raios-x do resíduo de granito**



Para o resíduo de granito, a principal fase cristalina encontrada foi o óxido de cálcio, correspondente à calcita, seguida do quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). O resíduo também apresenta picos de difração correspondente a mica, microclina e albita. A microclina que corresponde ao feldspato e a albita é benéfica para o processamento cerâmico, pois se comporta como fundente de acordo com os resultados obtidos por Ribeiro (2007).

**Figura 33 - Difração de raios-x do silestone**

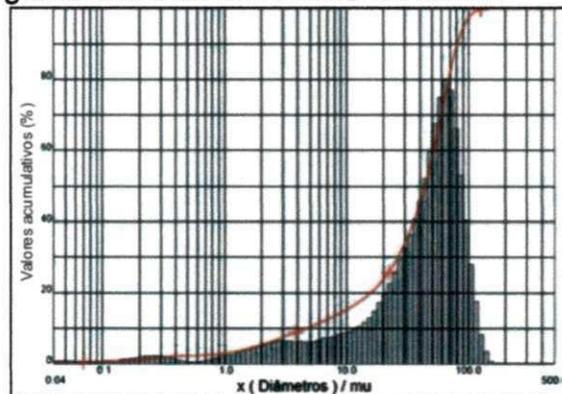


O difratograma do Silestone apresenta um pico de alta intensidade, com distância interplanar de  $3,33 \text{ \AA}$  para um ângulo de  $23,73^\circ$ , referente ao quartzo. O material ainda apresentou picos correspondentes a calcita, alumina e dióxido de titânio.

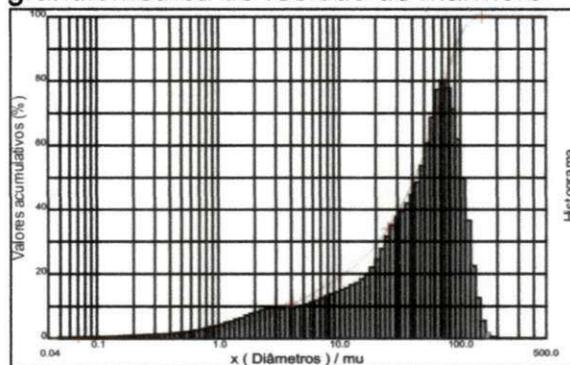
#### 4.1.4 Análise Granulométrica

As Figuras 34, 35 e 36 apresentam as curvas granulométricas dos resíduos estudados e a Tabela 8 apresenta as principais informações extraídas destas curvas, como a desuniformidade das partículas, medida por  $C_U$ , e de largura da taxa granulométrica, denominada  $C_D$ .

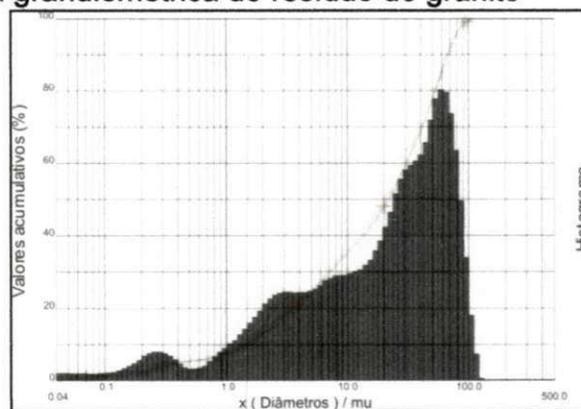
**Figura 34 - Curva granulométrica do resíduo de caulim**



**Figura 35 - Curva granulométrica do resíduo de mármore**



**Figura 36 - Curva granulométrica do resíduo do granito**



**Tabela 8 - Características granulométrica dos resíduos**

<b>Resíduos</b>	<b>D10</b> <b>µm</b>	<b>D50</b> <b>µm</b>	<b>D90</b> <b>µm</b>	<b>Dm</b> <b>µm</b>	<b>C<sub>U</sub></b>	<b>C<sub>D</sub></b>
Caulim	4,70	43,77	80,86	43,96	9,31	17,20
Mármore	3,64	41,84	89,94	44,92	11,50	24,70
Granito	1,46	21,72	66,84	28,31	14,88	45,78

De acordo com os resultados observados nas Figuras 34, 35 e 36, assim como na Tabela 8, pode-se observar que:

O  $C_U$  é dado pela razão,  $D_{50}/D_{10}$ . O  $C_U$  expressa a falta de uniformidade, pois quanto maior o seu valor mais desuniforme é a granulometria da amostra. Neste parâmetro a amostra granito é o que apresenta maior desuniformidade (14,88) e a de caulim maior uniformidade (9,31).

O  $C_D$  dado pela razão,  $D_{90} / D_{10}$ , é outro parâmetro importante, pois seu valor indica a extensão da faixa granulométrica ocupada pelas principais amostras analisadas. Com relação a este parâmetro destacam-se as amostras de granito pela larga faixa ocupada (45,78) e de caulim pela estreita faixa (17,20).

O  $C_U$  e  $C_D$  estão intimamente ligados, pois quanto mais larga a faixa granulométrica ocupada pela amostra, mais desuniformes são os tamanhos de suas partículas. Os dois parâmetros são importantes, pois fornecem informações que podem ser associadas à massa específica aparente (MAE) e a forma de acomodação das partículas.

Quanto ao comportamento das curvas, o resíduo de caulim apresentou um comportamento modal com estreita distribuição granulométrica, o resíduo de mármore apresentou curva bimodal ligeiramente sinuosa e o resíduo de granito uma curva bimodal bem acentuada, de acordo com os resultados obtidos pelas razões entre  $C_D$  e  $C_U$ .

#### **4.2 Ensaio físico-mecânicos dos compósitos**

Para os ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência a flexão, foram utilizados 05 (cinco) corpos de

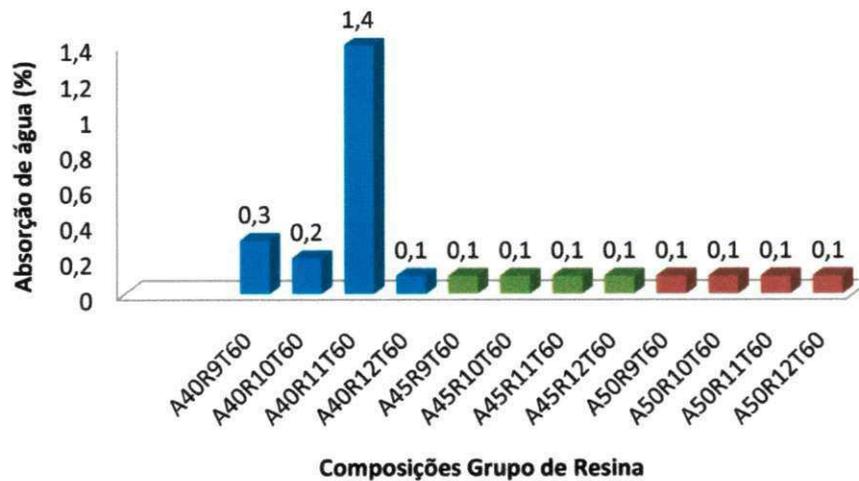
prova para cada composição, e calculada as médias aritméticas e o desvio padrão, de cada ensaio.

A Tabela 9 apresenta os valores médios da absorção de água após 24 horas de imersão, massa específica aparente, porosidade aparente e resistência à flexão no tempo escolhido de 60min, onde as demais composições e seus respectivos gráficos se encontram no Apêndice B.

**Tabela 9 - Composições e ensaios físico-mecânicos**

NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA/ RESÍDUOS/ TEMPO 60min				RESISTÊNCIA À FLEXÃO
		AA %	PA %	MEA %	
A40R9T60	40ml/90g	0,3	0,4	140,9	14,9
A40R10T60	40ml/100g	0,2	0,3	153,1	17,3
A40R11T60	40ml/110g	1,4	2,1	152,1	13,0
A40R12T60	40ml/120g	0,1	0,2	168,2	21,9
A45R9T60	45ml/90g	0,1	0,2	161,8	32,1
A45R10T60	45ml/100g	0,1	0,2	178,5	37,5
A45R11T60	45ml/110g	0,1	0,2	167,2	29,5
A45R12T60	45ml/120g	0,1	0,2	173,8	32,7
A50R9T60	50ml/ 90g	0,1	0,2	169,4	17,6
A50R10T60	50ml/100g	0,1	0,1	153,6	18,8
A50R11T60	50ml/110g	0,1	0,1	176,4	27,0
A50R12T60	50ml/120g	0,1	0,2	137,8	22,0

A partir dos resultados da Tabela 9 foi traçado o gráfico de absorção de água versus composição resíduo/resina das placas, Figura 37. A absorção de água é a principal propriedade das placas cerâmicas para revestimento, e é através dela que são classificadas as placas cerâmicas quanto ao uso e as suas especificações.

**Figura 37 - Valores médios absorção de água (AA%)**

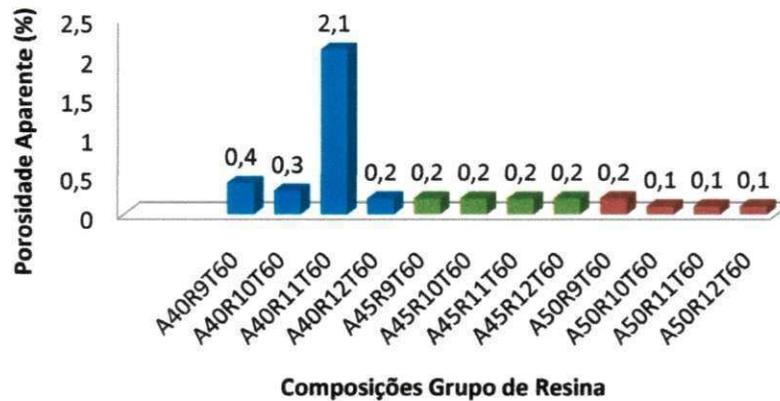
Pode-se observar de forma geral que a absorção de água não variou muito com o aumento do percentual de resíduo nos compósitos, e que a maioria das amostras apresentaram absorção de água  $\leq 0,5$ . As amostras com teores de resíduo acima de 100g, podem ser classificadas nos grupos de absorção (NBR 13.816) descritos no Quadro 2.

**Quadro 2 - Grupos de absorção de água**

GRUPOS	AA%
Ia	$0 < \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

Com base no Quadro 2, pode-se afirmar que todas as amostras estão classificadas nos grupos Ia ( $0 < \text{Abs} \leq 0,5$ ).

As Figuras 38 e 39 apresentam os valores médios dos ensaios físicos de porosidade aparente e massa específica aparente das composições estudadas.

**Figura 38 - Valores médios de porosidade aparente (PA%)**

Quanto aos resultados de porosidade aparente dos compósitos pode-se observar que o aumento no teor da resina provocou uma diminuição nesta propriedade. Considerando agora o aumento no percentual de resíduos percebe-se que para o primeiro grupo ocorreu uma pequena diminuição.

**Figura 39 - Valores médios de massa específica aparente (MEA%)**

As análises de massa específica aparente apresentaram pouca variação. No primeiro grupo ela cresceu com o aumento do percentual de resíduo, já nos demais grupos não foi possível observar nenhuma correlação.

A Figura 40 apresenta a média os valores de resistência à flexão dos compósitos estudados versus a composição de resíduos.

**Figura 40 - Valores médios de resistência à flexão (TRF%)**

Observa-se na Figura 40 que a resistência dos compósitos de forma geral aumentou com aumento do percentual de resíduos. Entretanto verifica-se a diminuição da resistência em relação ao aumento do percentual de resina. Os compósitos A45R9T60 (32,1MPa), A45R10T60 (37,5MPa) e A45R12T60 (32,7MPa) apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão, dentre as composições estudadas.

Na norma NBR 13816(ABNT) de placas cerâmicas para revestimento, as recomendações de valores de resistência a flexão devem variar entre 15 a 35 MPa, logo a maioria dos compósitos apresentaram valores de resistência dentro dos especificados.

Com base nos dados de segurança fornecidos pelo manual das placas industrializadas, o Silestone®, tem-se que: a absorção de água deve estar entre 0,04 e 0,20% e a resistência a flexão entre 29 – 70 Mpa, estes valores estão próximos aos obtidos nos compósitos estudados.

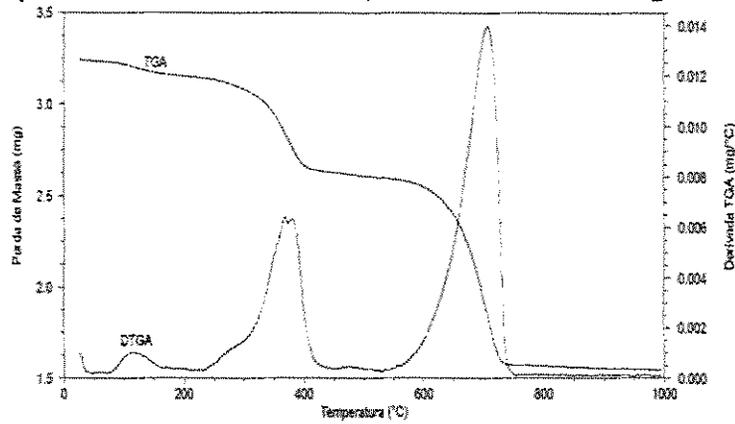
### 4.3 Caracterização Térmica dos Compósitos

#### 4.3.1 Termogravimetria e termogravimetria derivada (TGA/DTGA) dos compósitos

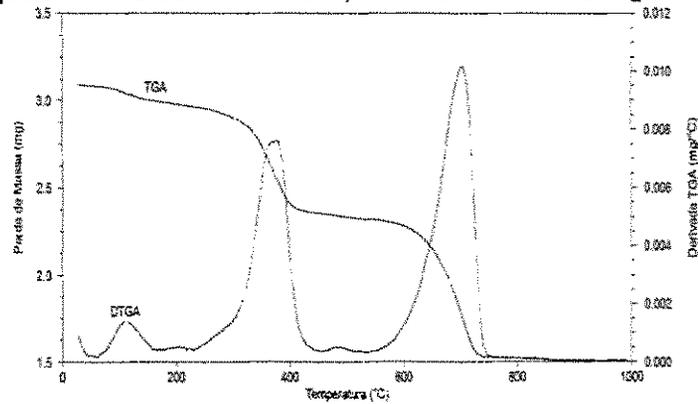
As Figuras 41, 42, 43, 44, apresentam as curvas TGA/DTGA obtidas à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ , dos compósitos A40R9, A45R10, A50R11 e A50R12, estas escolhidas, pois representam o

comportamento das demais, no entanto todas as curvas TGA/DTGA encontram-se no Apêndice A.

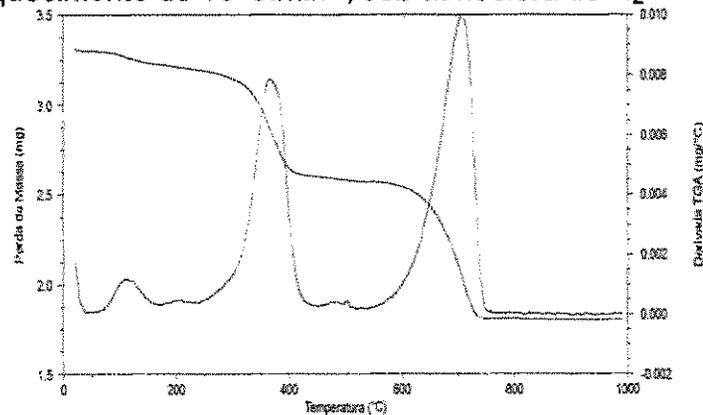
**Figura 41** - Curvas TGA/DTGA da composição A40R9, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



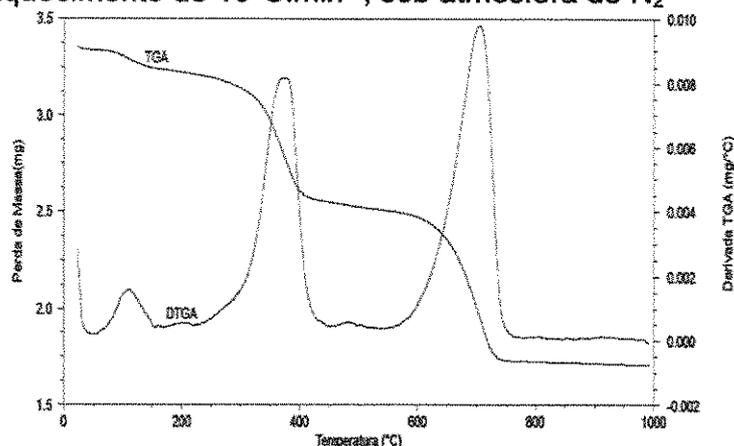
**Figura 42** - Curvas TGA/DTGA da composição A45R10, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



**Figura 43** - Curvas TGA/DTGA da composição A50R11, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



**Figura 44** - Curvas TGA/DTGA da composição A50R12, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



As Figuras 41 até 44 apresentam as curvas TGA/DTGA das composições A40R9, A45R10, A50R11 e A50R12, respectivamente, onde se observa um perfil térmico semelhante, com perda de massa em 3 (três) etapas.

A Tabela 10 apresenta os dados das decomposições térmicas de todos os compósitos estudadas, como: faixa de temperatura; temperatura de pico; perda de massa em % e mg.

**Tabela 10** - Dados das decomposição térmica das composições estudadas razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$

AMOSTRA	ETAPAS DE DECOMPOSIÇÃO	FAIXA DE TEMP. ( $^{\circ}\text{C}$ )	TEMPERATURA DE PICO ( $^{\circ}\text{C}$ )	PERDA DE MASSA	
				(%)	mg
A40R9	1	25-247	101,5	3,2	0,1
	2	250-460	319,2	16,0	0,5
	3	470-790	629,3	32,4	1,0
A40R10	1	24-210	119,5	3,7	0,1
	2	210-510	398,2	20,6	0,7
	3	517-790	325,4	24,5	0,9
A40R11	1	18-215	115,2	2,3	0,1
	2	217-500	322,4	19,9	0,6
	3	510-795	624,5	25,0	0,8
A40R12	1	20-225	109,3	3,2	0,1
	2	230-500	349,2	16,4	0,5
	3	510-795	619,7	24,6	0,8
A45R9	1	12-195	108,3	3,3	0,1
	2	210-500	360,2	22,0	0,5
	3	510-796	645,6	28,0	0,6
A45R10	1	25-240	120,4	3,8	0,2
	2	245-490	342,3	20,6	0,6
	3	495-820	649,2	26,4	0,8
A45R11	1	45-252	148,2	3,2	0,1
	2	260-500	359,3	17,2	0,6
	3	510-800	330,5	26,0	0,8

<b>A45R12</b>	1	10-210	114,4	3,7	0,1
	2	212-510	308,2	19,6	0,7
	3	520-800	648,5	25,0	0,8
<b>A50R9</b>	1	40-250	155,3	3,5	0,1
	2	250-500	348,6	17,3	0,6
	3	510-780	649,4	25,0	0,8
<b>A50R10</b>	1	20-230	98,9	4,5	0,2
	2	240-490	345,4	24,0	0,8
	3	560-750	648,7	21,5	0,7
<b>A50R11</b>	1	20-230	120,2	3,2	0,1
	2	235-460	334,5	19,0	0,6
	3	462-830	647,5	23,0	0,7
<b>A50R12</b>	1	20-200	99,9	3,6	0,1
	2	210-500	347,4	20,9	0,7
	3	515-790	649,5	23,7	0,8

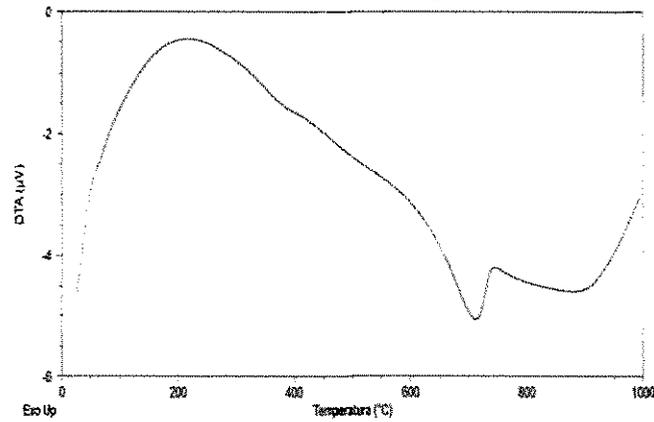
Observa-se que os compósitos apresentaram a primeira etapa de perda de massa de aproximadamente 3,5%, entre a temperatura ambiente e 250°C, referente a possível volatilização de solventes presentes no compósito. Já a segunda etapa de perda de massa ocorre entre 210°C e 500°C, e refere-se à degradação da resina, a massa perdida nesta etapa variou de 16 a 22%. A terceira etapa de decomposição é a maior em todos os compósitos (entre 22 a 32%) e ocorre na faixa de 500°C e 830°C, acima desta temperatura se dá a decomposição dos carbonatos de magnésio, seguido da decomposição do carbonato de cálcio e sódio. A perda de massa total para as composições estudadas variou entre de aproximadamente 42 e 53%. As curvas TGA/DTGA de todas as composições estudadas se encontram no Apêndice C.

#### 4.3.2 Análise Térmica Diferencial (DTA)

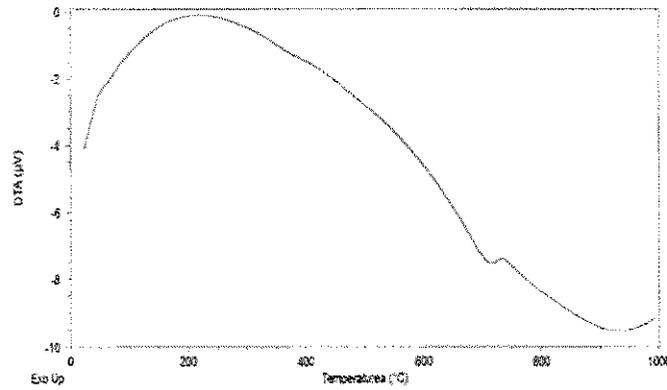
As Figuras 45 até 48 apresentam as curvas DTA dos compósitos A40R9, A45R10, A50R11 e A50R12 obtidas à razão de aquecimento de 10°C.min<sup>-1</sup>, sob atmosfera de N<sub>2</sub>, estas como as curvas TGA/DTGA, apresentaram comportamento semelhante as demais.

As curvas DTA das demais composições estudadas se encontram no Apêndice D.

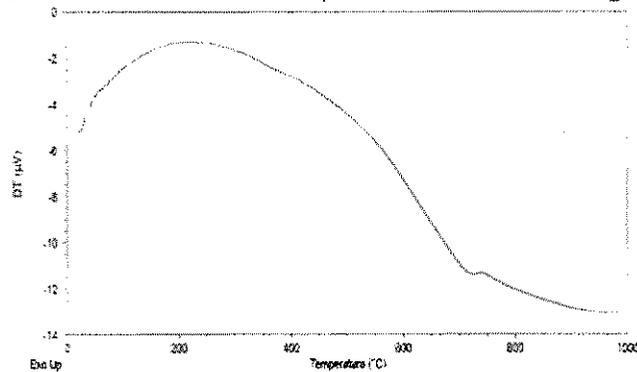
**Figura 45** - Curva DTA da composição A40R9, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



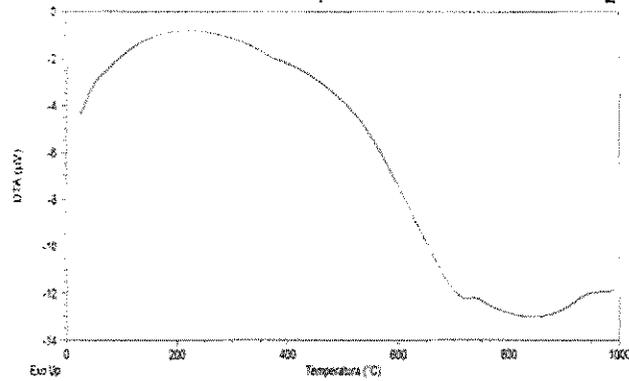
**Figura 46** - Curva DTA da composição A45R10, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



**Figura 47** - Curva DTA da composição A50R11, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



**Figura 48** - Curva DTA da composição A50R12, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



Pode-se observar em todos os gráficos um comportamento semelhante com bandas exotérmicas e endotérmicas, com máximo de temperatura em aproximadamente  $200^{\circ}\text{C}$  e  $700^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, referente a degradação material orgânico(resina) e inorgânico(carbonatos).

**CAPÍTULO V**  
**Conclusões**

---

## 5 CONCLUSÕES

Tendo com proposta o desenvolvimento e a caracterização de compósitos de matriz cerâmica produzidos com resíduos de Caulim, Granito e Mármore, para utilização como placas de revestimento, pode-se a partir dos resultados obtidos, concluir que:

- Os resultados obtidos na caracterização dos resíduos de caulim, mármore e granito, permitiram uma melhor elucidação das propriedades químicas e físicas dos compósitos estudados, além de indicar a possibilidade do seu emprego na tecnologia proposta;
- A absorção de água nos compósitos não variou muito com o aumento do percentual de resíduo ou de resina nas composições estudadas, e a maioria das amostras apresentaram absorção de água  $\leq 0,5$ , o que é bastante interessante para esse tipo de aplicação, além de atender as especificações da NBR 13.816(ABNT);
- As análises de massa específica aparente e porosidade aparente apresentaram em alguns compósitos certa relação, ou seja, quando a massa específica aparente cresceu a porosidade também cresceu.
- A porosidade aparente indica relação direta com a resistência físico-mecânica dos compósitos, pois quanto maior a absorção de água, provavelmente menor a sua resistência físico-mecânica;
- Os compósitos de forma geral tiveram suas resistências mecânicas aumentadas com o aumento do percentual de resíduos em todos os grupos. Entretanto verifica-se a diminuição da resistência em relação ao aumento do percentual de resina;

- Os compósitos A45R9T60 (32,1MPa), A45R10T60 (37,5MPa) e A45R12T60 (32,7MPa) apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão, dentre as composições estudadas;
- A maioria dos compósitos apresentaram valores que variaram entre 15 a 35 MPa, mas quando comparados com os da placa industrializada (Silestone®), apenas os compósitos A45R9T60, A45R10T60 e A45R12T60 encontram-se dentro do especificado;
- As curvas TGA/DTGA dos compósitos estudados apresentaram perfil térmico semelhante, com perda de massa em 3 (três) etapas e baixa estabilidade térmica. A perda de massa total para as composições estudadas variou entre de aproximadamente 42 e 53%;
- As variações de composição (resina/resíduo) não influenciaram consideravelmente o comportamento térmico dos compósitos estudados, isto pôde ser comprovado nas curvas TGA/DTA.

Com base nestas informações é possível confirmar a viabilidade e inovação desta pesquisa, que acarretará na redução dos custos energéticos na indústria, por utilizar o processo de conformação por prensagem a baixa temperatura, sem sinterização, além de utilizar resíduos de rochas ornamentais como matéria prima, o que acarreta em benefícios ao meio ambiente, sendo também de grande valor científico para a comunidade acadêmica e profissional que atua na área de reutilização e reciclagem de resíduos sólidos.

**SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS**

---

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar novas composições para o mesmo tipo de compósito, variando as proporções e granulometrias dos resíduos com valores superiores aos empregados nesta pesquisa.
- Estudar temperaturas e tempos de prensagem diferentes.
- Avaliar a microestrutura dos compósitos através da Microscopia Eletrônica de Varredura.
- Incorporar outros resíduos às composições, como por exemplo, os vidros ocós e planos de tipos e colorações diversas.
- Desenvolver processos de acabamento para as placas como: polimento, esmaltação, entre outros.

## REFERÊNCIAS

---

## REFERÊNCIAS

ALATON, I.A.; BALCIOGLU, I.A. **Photochemical and heterogeneous photocatalytic of waste vinylsulphone dyes: a case study with hydrolysed reactive black 5.** *J. Photoch. Photobio. A.*, v.141, p. 247-254, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **Guia de assentamento de revestimento cerâmico.** São Paulo, 2010. Disponível em: [www.anfacer.org.br](http://www.anfacer.org.br) – acesso em Dez. de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.816. **Placas cerâmicas para revestimento: terminologia.** Rio de Janeiro, 1997 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13.818. **Placas cerâmicas para revestimento: especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 1997c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004: **Resíduos Sólidos: classificação.** São Paulo, 2004.

BABIS, M.P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais.** Dissertação de mestrado em Ciência dos Materiais. Rio de Janeiro, 2009.

BARATA, M., DAL MOLIN, D. Avaliação Preliminar do Resíduo Caulinítico das Indústrias de Beneficiamento de Caulim como Matéria-prima na Produção de uma Metacaulinita Altamente Reativa. **Ambiente Construído**, América do Norte, 2, apr. 2002. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3412/1826>  
> Acesso em: 19 de novembro de 2010

BIFFI, G. **O Grês Porcelanato - Manual de fabricação e técnicas de emprego**, Faenza Editrice do Brasil Ltda., S. Paulo, SP (2002) 32.

BOSCHI, A. **Queima de Corpos Cerâmicos**, disponível em: <[www.centraldaceramica.com.br/Central/web/informa/dicas/defeitos\\_vidrados.htm](http://www.centraldaceramica.com.br/Central/web/informa/dicas/defeitos_vidrados.htm)> Acesso em: 03 de outubro de 2010

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. CETESB., 1993.

BRILLAS,E., BOYE, B, I. SIRES, J.A. GARRIDO, R.M., RODRIGUEZ, C., ARIAS, P., CABOT, COMNINELLIS, C. **Electrochemical destruction of chlorophenoxy herbicides by anodic oxidation and electro-Fenton using a boron-doped diamond electrode**, *Electrochim. Acta* 49 (2004) 4487.

BUNDY, W. M., The Diverse Industrial Applications of Kaolin. In: MURRAY, H. H., BUNDY, W. M., HARVEY, C. C. (eds), **Kaolin Genesis and Utilizations**, pp. 43-75, Colorado, USA, The Clay Minerals Society, 1993.

BURSZTYN, M. A. A. **Gestão Ambiental: Instrumentos e Práticas**. Brasília: Edgard Blücher. 172p. 1994.

CABRAL, E. LEITE, E.; ARAÚJO, R. **IMPACTOS AMBIENTAIS: Uma Abordagem das Atividades de Beneficiamento de Caulim na Região Borborema/Seridó na Paraíba**. Faculdade Unida da Paraíba, João Pessoa – Paraíba. 2009.

CALADO, M., SILVA, J. H. P, **Dicionário de Termos da Arte e Arquitectura**, Editorial Presença, Lisboa, 2005.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**, 5ª ed., Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2002.

CARVALHO JR., A. N. **Técnicas de Revestimento; Apostila do Curso de Especialização em Construção Civil**. 1. Ed. Belo Horizonte: DEMC – EE. UFMG. CENTRO CERÂMICO DO BRASIL (CCB). Disponível em: <[www.ccb.org.br](http://www.ccb.org.br)>. Acesso em: 10 de janeiro de 2010.

CHIODI FILHO, C. **Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM de Janeiro, (Série Estudos e Documentos), n.28, 1995c

COSTA, R. C. C., LELIS, F., OLIVEIRA, L. C. A., FABRIS, J. D., ARDISSON, J. D., RIOS, R.R. A., SILVA, C. N., LAGO, R. M. **Remarkable Effect of Co and Mn on the Activity of Fe<sub>3</sub>-xMxO<sub>4</sub> Promoted Oxidation of Organic Contaminants in Aqueous Medium with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**. *Catalysis Communications*. v.4, p.525 - 529, 2003.

COSTA, C.G., MEDEIROS, S.A., INGUNZA, M.P.D., JUNIOR, O.F.S., DANTAS, E.R. **Valorização do rejeito proveniente do beneficiamento de caulim do Município de Equador-RN**. Congresso Iberoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta Del Este, p. 26-30, 2006.

DURÁN, N.; ZAMORA, P.P., MORAES, S.G., PELEGRINI, R., FREIRE, M., REYES, J., MANSILLA, H. **Evaluation of ZnO, TiO<sub>2</sub> and supported ZnO on the photoassisted remediation of black liquor, cellulose and textile Mill effluents**. *Chemosphere*, v. 36, n°. 9, p. 2119-2133, 1998.

FERREIRA, S.A.D., SANTANA, D.D., FABRIS, F.D., CURI, N., NUNES FILHO, E., COEY, J.M.D. **Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências do solo do Estado de Minas Gerais**. *Ver Soc. Brás. Ci.Solo*, Campinas: p.167-174, 1994.

Ficha de Dados de Segurança do Silestone®, 2009. Disponível em <[http://www.silestone.com/pcomp/po/FS\\_SILESTONE.pdf](http://www.silestone.com/pcomp/po/FS_SILESTONE.pdf)>  
Acesso em 21 de abril de 2010.

FRANCO, A.L. **Revestimentos cerâmicos de fachada: Composição, patologias e técnicas de aplicação**. Monografia do curso de Especialização em construção civil – Belo Horizonte, 2009.

FREITAS, V.P; SOUSA, A.V.S; SILVA, J.A.R.M. **Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos**. Coimbra, 2003.

GOBBO, L. A.; MELLO, I.S.C.; QUEIRÓZ, F.C.; FRASCÁ, M.M.B.O. **Aproveitamento de Resíduos Industriais**. In: MELLO, I.S.C. A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. S.A, 2004. P. 129-152.

GONÇALVES, M.S.T., OLIVEIRA CAMPOS, A.M.F., PINTO, E.M.M.S., PLASÊNCIA, P.M.S. **Photochemical treatment of solutions of azo dyes containing TiO<sub>2</sub> Chemosphere**, v.39, n.5, p.781-786, 1999.

**GUIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS** - Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-US.

**GRUPO COSENTINO**. Disponível em < <http://www.cosentinogroup.net>> Acesso em: 21 de abril de 2010.

HADDAD, M.; SAMPAIO, R.A. **Polímeros- Propriedades, aplicações e sustentabilidade na construção civil**. São Paulo, 2006

HARPER, C. A. **Handbook of materials for product design**. New York: McGraw-Hill, 2001. 3. ed.

HASSEMER, M.E., SENS, M.L. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico químico, ozônio e coagulação/floculação**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.7, n.1, 2002.

HECK, C. **Gres Porcelanato**. Cerâmica Industrial, 01 (04/05) Agosto/Dezembro, 1996

HULING, S.G, BLEDSOE, B.E, WHITE, M.V. **Enhanced bioremediation utilizing hydrogen peroxide as a supplemental source of oxygen: a laboratory and field study**. Bioremediation, EPA/600/S2-90/006, 1990.

HOLME, I. **Developments in the chemistry and technology of organic dyes**. Blackwell Scientific Publications: Oxford, 1984.

IONASHIRO, M. e GIOLITO, I. **Influência da estrutura polimérica nos parâmetros de comportamento de campo dos Geossintéticos.** Cerâmica, 26 (121), p. 17-24, 1998.

KANG, S.F., LIAO, C.H., HUNG, H. **Peroxidation treatment of dye manufacturing wastewater in the presence of ultraviolet light and ferrous ions.** Journal Hazardous Materials, v.65, p.317-333,1999.

KUNZ, A., PERALTA ZAMORA, GOMES, M.P,DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Quim. Nova, v.25, p.78-82, 2002.

KUSVUAN, E., IRMAK, S., YAVUZ, H.I., SAMILI, A., ERBATUR, O. **Comparison of the treatment methods efficiency for decolorization and mineralization of Reactive Black 5 azo dye,** J. Hazard. Mater. B 119 (2005) 109.

LIMA, A. M. V., ANTÓNIO. **Caracterização do comportamento à fractura de materiais compósitos (PRFV),** Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica. Porto, 1987.

LUZ, A. B., CHAVES, A. P. **"Tecnologia do Caulim: ênfase na indústria de papel"** In: **Rochas e Minerais Industriais**, v. 01, Centro de Tecnologia Mineral. 2000.

LUZ, A.; CAMPOS, A. R., CARVALHO, E. A., BERTOLINO, L. C. **"Caulim - Usos e Especificações"**. 2005.

LUZ, A.; DAMASCENO, E. **Caulim: Um mineral Industrial Importante**, 1993. Disponível em <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\\_STM\\_65.PDF](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_STM_65.PDF)> Acesso em; 20 novembro de 2010.

MADUREIRA, F.J.B, ATENCIO, D., MCREATH, I. **Minerais e rochas: constituintes da terra sólida.** In: TEIXEIRA, W.,TOLEDO, M. C.M.,FAIRCHILD, T.R, TAIOLI, F. (org). **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 568.

MALISKA, A.M **Caracterização de revestimentos cerâmicos**. Curso de Graduação em Eng. Mecânica, UFSC, SC (2000) 78p.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. Edigard Blucher, 2ª ed., São Paulo, 1986.

MELLO, M.; GAUITA, J.P.; FAJAN, S.F. **Avaliação da possibilidade de aproveitamento da lama proveniente do processo de beneficiamento de mármores como matéria-prima em cerâmica vermelha**. 49º Congresso de Cerâmica, 2005.

MELLO, R.M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granito como matéria-prima em cerâmica vermelha**. Dissertação de mestrado em Ciências na área de tecnologia Nuclear. IPEN, Instituto de pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2006.

MENDONÇA, P.T. **Materiais compostos e estrutura-sanduiche: projeto e análise**. São Paulo, 2005.

MONTANI, C. , **Repertório econômico mondiale**. Faenza: Grupo editoriale Faenza Editrice. S.P.A, 2003.237p

MONTE, M. B. M., CARVALHO, E. A., FERREIRA, O., CABO, S. S., 2001, "Caulim CADAM". In: SAMPAIO, J. A., LUZ, A. B., LINS, F. F. (eds), **Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil**, 1 ed., cap. 01, Rio de Janeiro, Brasil, Centro de Tecnologia Mineral, 2001.

MORAES, M.L.V.N. **Aproveitamento de resíduo de beneficiamento do caulim na produção de porcelanato cerâmico**. Tese de doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais, UFRN. Natal, 2007.

MORAIS, A.I.B. **Soluções de reabilitação de fachadas com revestimento em ladrilhos cerâmicos**. Dissertação de mestrado em Reabilitação do patrimônio edificado. Universidade do Porto. Portugal, 2007.

**MOURISCO, A.J. Preparação e caracterização de compósito de matriz de alumínio 1100 com partículas de SiC por metalurgia do Pó.** Dissertação em Ciências na área de Tecnologia Nuclear. IPEN, Instituto de pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1995.

**NEVES, G.A. Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como Matéria - Prima Cerâmica.** 2002. 242p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB.

**NORTON, F. H. Introdução à tecnologia cerâmica.** São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1973.

**OLOMAN, C., WATKINSON AP. The electroreduction of oxygen to hydrogen peroxide on fluidized cathodes.** Can J Chem Eng 1975;53(3):268–73.

**OTURAN, M. D, J. PEIROTEN, P. CHARTRIN, A.J. ACHER, Complete destruction of p-nitrophenol in aqueous medium by electro-Fenton method, Environ. Sci. Technol. 34 (2000) 3474.**

**PALDÉS, R.J.A. Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais na arquitetura, e seu uso em vias públicas.** VII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Fortaleza, 2009.

**PALMONARI, G.,TIMELLINI, C. Ceramic Floor and Wall Tile: Performance and Controversies,** Sassuolo, Itália, Edi.Cer. (1989) 38-42.

**PEREIRA, A. M. Determinação de parâmetros da qualidade para a avaliação de recobrimentos superficiais de telhas cerâmicas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais – Florianópolis, 2006.

**PERES, C. S e ABRAHÃO, A. J. Características e sistemas de tratamento de águas residuais das indústrias têxteis.** Revista Química Têxtil, v.21, p. 22– 39, 1999.

PLETCHER, D. **Electrogenerated hydrogen peroxide-from history to new opportunities**. Watts New 1999;4(1):1-7, <http://www.electrosynthesis.com>.

PONTES, I. F., VIDAL, F.W. H. **Valorização de resíduos de serrarias de mármore e granito e sua aplicação na construção civil**. Vº Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, pg. 117, 2005.

POZZO, A.D, L.D. PALMA, C. MERLI, E. PETRUCCI, **An experimental comparison of a graphite electrode and a gas diffusion electrode for the cathodic production of hydrogen peroxide**, J. Appl. Electrochem. 35 (2005) 413.

RABELO, M. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo, Artliber Editora, 2000.

RADO, P. **Introducción a la tecnología de la cerámica**. Omega S.<sup>a</sup>, Barcelona, 1990.

RÊGO, José Maria. **O potencial das rochas carbonáticas do Rio Grande do Norte**. Natal, 2005. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/13emc/pdf/sedec-rn.pdf>. Acesso em dez. 2010.

RIBEIRO, R.F.S., GONÇALVES, W.P., MORAIS, C.C.G., SANTANA, L.N.L., LIRA, H. L., NEVES, G.A., MENEZES, R.R. **Utilização do resíduo de granito em massas cerâmicas empregadas na obtenção de revestimento**. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Bahia, 2007.

SÁNCHEZ, A.F.B. **Análisis de La reutilización de resíduos procedentes de La industria de Silestone® em La fabricación de Mezclas Bituminosas**. Tese Doctoral. Granada, 2009.

SANTOS, E. A. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz de poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Natal, 2007.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 2ª edição revisada e ampliada. v.1,2 e 3. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1989.

SANTOS, P. H. C., FILHO, A. F. S. **Eflorescência: causas e conseqüências**. Salvador, 2008. Disponível em: [http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART\\_130109.pdf](http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART_130109.pdf). Acesso em março 2011.

SCHIAVON, M. A. **Polissiloxanos e polissilozanos como precursores de materiais cerâmicos e suas aplicações na obtenção de compósitos de matriz cerâmica**. Tese de Doutorado em Química. Campinas, 2002.

SILVA, A.; VIDAL, M.; PEREIRA, M. **Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim**. *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2001, vol.54, n.2, pp. 133-136. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S037044672001000200010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037044672001000200010)> Acesso em 30 de novembro de 2010.

SIMÕES, J. R. L., LEITE, B. C. C. **Acabamentos em materiais plásticos (pisos, paredes e forros) e revestimentos externos (siding)**. In: II Encontro Tecnologia de Sistemas Plásticos na Construção Civil, 1997, São Paulo, SP. Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, nov. 1997. 252 p. p. 85-133.

SOTTORIVA, P.R.S. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, 2002.

SCHUMB, W.C, SATTERFIELD, C.N, WENTWORTH, R.L. **Hydrogen peroxide**. Reinhold Publishing Co.: New York, NY, 1955. p. 392, 515, 535–46.

TUNAY, O., KABDASLI, I., EREMEKTAR, G., ORHON, D. **Water Sci. Technol.**, v.34, p.9,1996

VANDEVIVERE, P. C., BIANCHI, R., VERSTRAETE, W. **Treatment and reuse of wastewaters from the textile wet-processing industry: review of emerging technologies**. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, v.72, p. 289-302, 1998.

VENTURA, A.M.F.M. **Os compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas Metálicas**. *C. Tecn.Mat.*, v.21, p. 3-4, Lisboa, 2009.

**Apêndice A**  
**Tabelas de composições**

---

Tabela 1 – Nomenclatura utilizada para as amostras em 40 minutos

GRUPOS	NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA / RESÍDUOS / 40 min)
1	A40R9T40	40ml / 90g
	A40R10T40	40ml / 100g
	A40R11T40	40ml / 110g
	A40R12T40	40ml / 120g
2	A45R9T40	45ml / 90g
	A45R10T40	45ml / 100g
	A45R11T40	45ml / 110g
	A45R12T40	45ml / 120g
3	A50R9T40	50ml / 90g
	A50R10T40	50ml / 100g
	A50R11T40	50ml / 110g
	A50R12T40	50ml / 120g

Tabela 2 – Nomenclatura utilizada para as amostras em 50 minutos

GRUPOS	NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA / RESÍDUOS / 50min)
1	A40R9T50	40ml / 90g
	A40R10T50	40ml / 100g
	A40R11T50	40ml / 110g
	A40R12T50	40ml / 120g
2	A45R9T50	45ml / 90g
	A45R10T50	45ml / 100g
	A45R11T50	45ml / 110g
	A45R12T50	45ml / 120g
3	A50R9T50	50ml / 90g
	A50R10T50	50ml / 100g
	A50R11T50	50ml / 110g
	A50R12T50	50ml / 120g

## **Apêndice B**

### **ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS DAS COMPOSIÇÕES**

---

Tabela 1 - Composições e ensaios físico-mecânicos em 40min

NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA/ RESÍDUOS/ TEMPO 40min)	RESISTÊNCIA			À FLEXÃO
		AA %	PA %	MEA %	
A40R9T40	40ml/90g	0,1	0,3	181,2	17,9
A40R10T40	40ml/100g	0,1	0,3	180,5	19,1
A40R11T40	40ml/110g	0,1	0,3	166,3	23,5
A40R12T40	40ml/120g	0,2	0,5	195,8	27,5
A45R9T40	45ml/90g	0,5	0,8	156,3	22,2
A45R10T40	45ml/100g	0,1	0,2	156,5	23,7
A45R11T40	45ml/110g	0,1	0,2	154,5	24,1
A45R12T40	45ml/120g	0,1	0,4	175,5	25,0
A50R9T40	50ml/ 90g	0,1	0,1	155,1	20,0
A50R10T40	50ml/100g	0,1	0,1	158,7	22,8
A50R11T40	50ml/110g	0,4	0,4	145,3	12,2
A50R12T40	50ml/120g	0,4	0,4	162,5	11,0

Figura 1 – Ensaio de absorção de água composições em 40 minutos

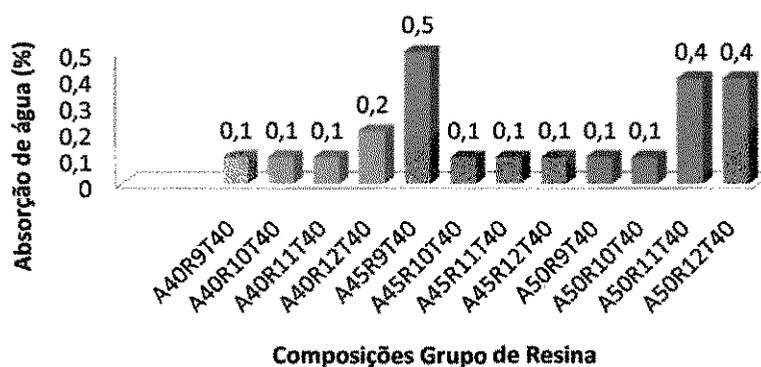


Figura 2 – Ensaio de porosidade aparente composições em 40 minutos

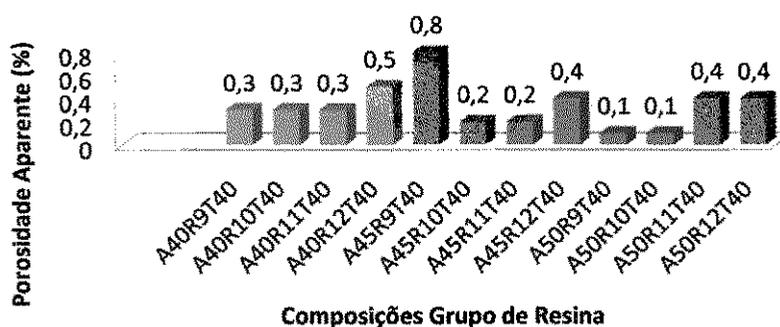


Figura 3 - Ensaio de massa específica aparente composições em 40 minutos

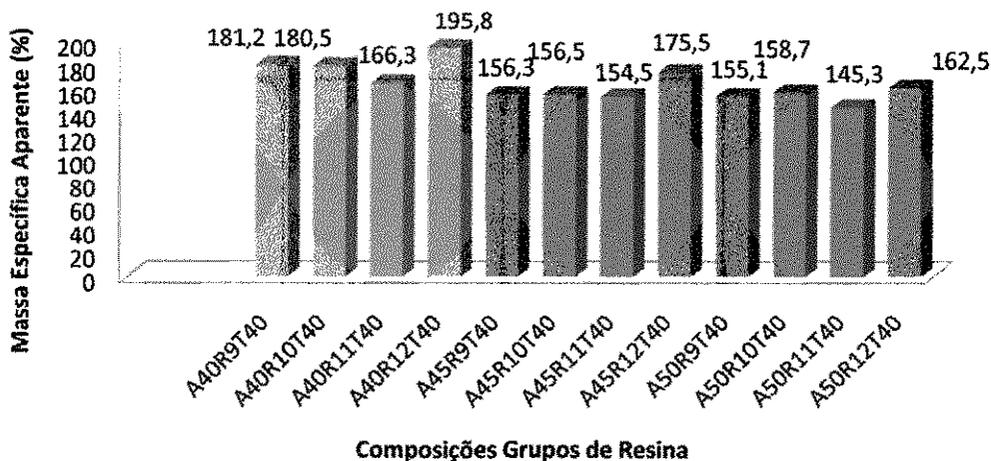


Figura 4 - Ensaio de resistência a flexão composições em 40 minutos

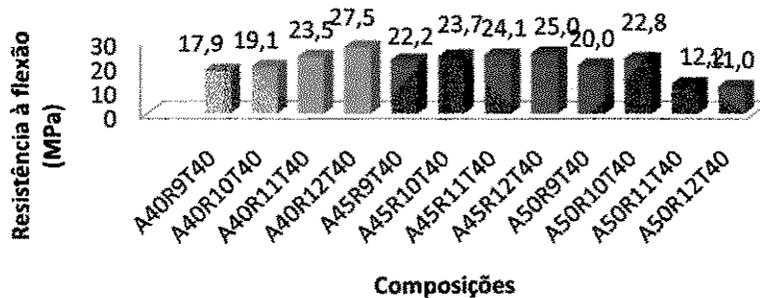


Tabela 2 - Composições e ensaios físico-mecânicos em 50min

NOMENCLATURA	COMPOSIÇÃO (RESINA/ RESÍDUOS/ TEMPO 50min	RESISTÊNCIA			RESISTÊNCIA À FLEXÃO
		AA %	PA %	MEA %	
A40R9T50	40ml/90g	0,7	1,3	181,4	13,1
A40R10T50	40ml/100g	0,4	0,7	157,3	15,9
A40R11T50	40ml/110g	0,2	0,4	168,4	24,5
A40R12T50	40ml/120g	0,1	0,2	176,0	28,5
A45R9T50	45ml/90g	0,2	0,3	155,0	23,9
A45R10T50	45ml/100g	0,3	0,6	176,4	25,5
A45R11T50	45ml/110g	0,2	0,4	153,9	17,0
A45R12T50	45ml/120g	0,2	0,4	165,2	21,9
A50R9T50	50ml/ 90g	0,2	0,4	165,4	22,0
A50R10T50	50ml/100g	0,2	0,3	158,3	22,6
A50R11T50	50ml/110g	0,1	0,3	173,5	23,4
A50R12T50	50ml/120g	0,3	0,5	155,4	18,0

Figura 5 – Ensaio de absorção de água composições em 50 minutos

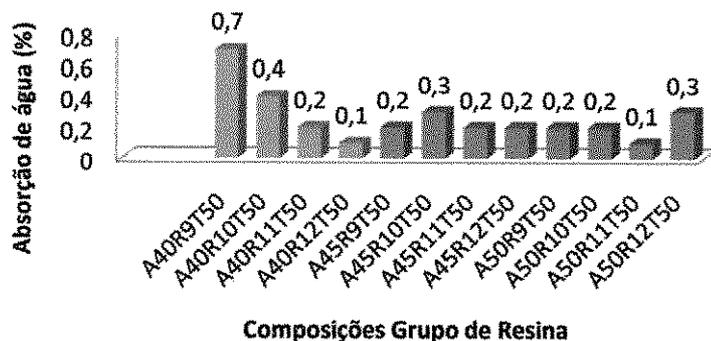


Figura 6 – Ensaio de porosidade aparente composições em 50 minutos

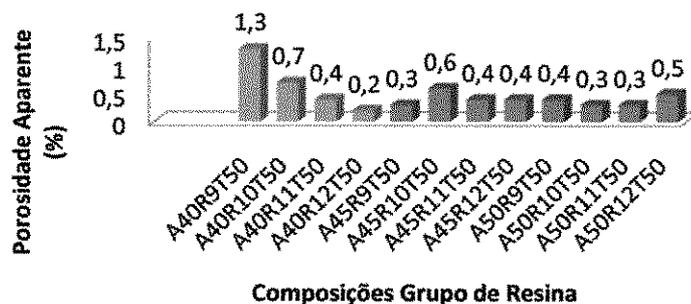


Figura 7 - Ensaio de massa específica aparente composições em 50 minutos

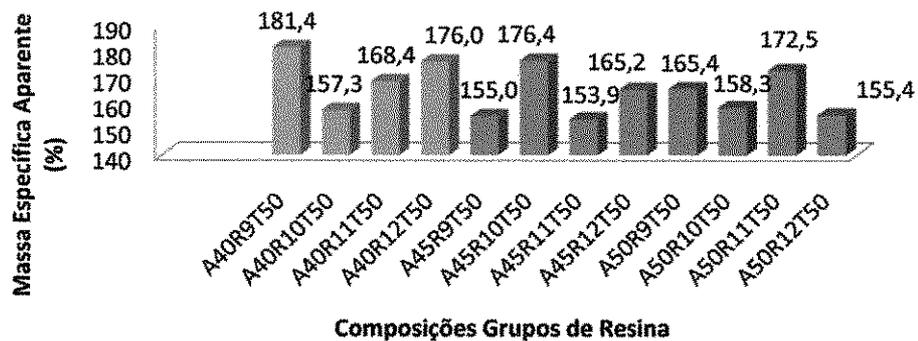
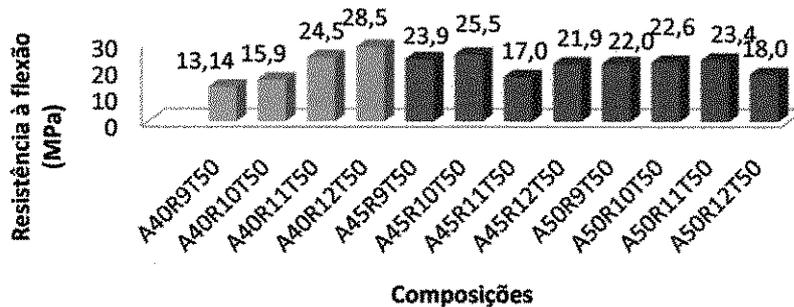


Figura 8 - Ensaio de resistência a flexão composições em 50 minutos

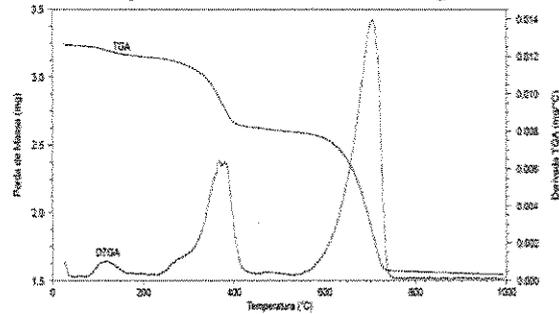


**Apêndice C**  
**Curvas TGA/DTGA composições**

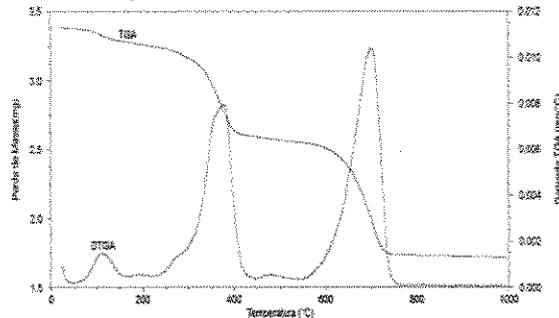
---

1. Curvas TGA/DTGA de todas as composições estudadas

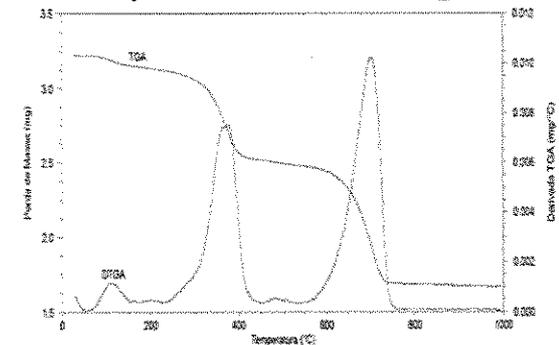
**Figura 1 - Curvas TGA/DTGA da composição A40R9, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 2 - Curvas TGA/DTGA da composição A40R10, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 3 - Curvas TGA/DTGA da composição A40R11, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 4 - Curvas TGA/DTGA da composição A40R12, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**

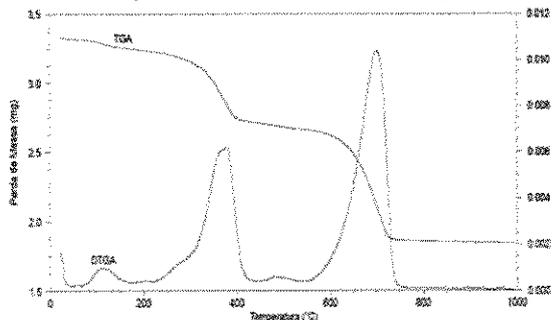


Figura 5 - Curvas TGA/DTGA da composição A45R9, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$

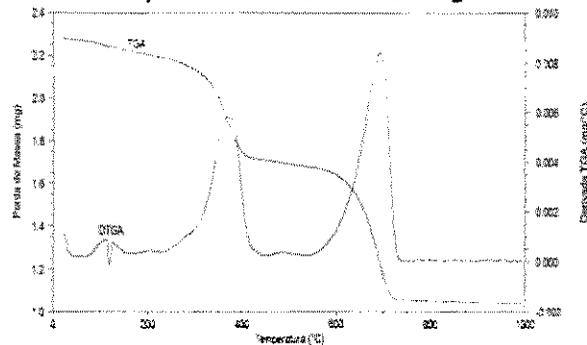


Figura 6 - Curvas TGA/DTGA da composição A45R10, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$

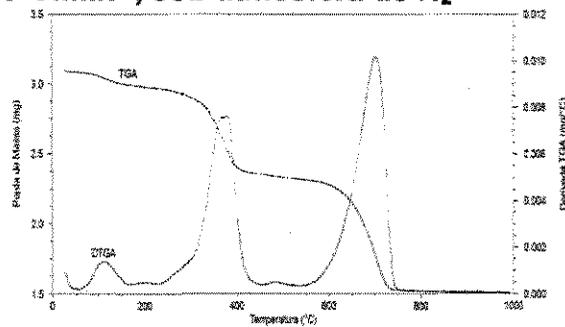


Figura 7 - Curvas TGA/DTGA da composição A45R11, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$

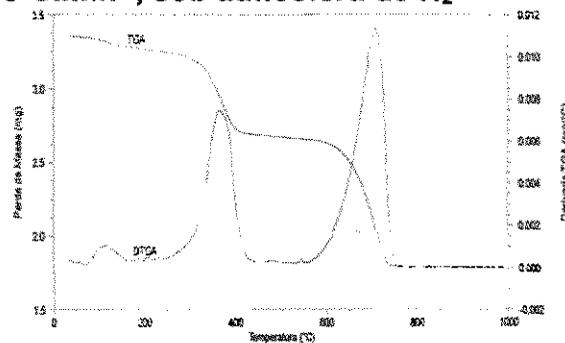
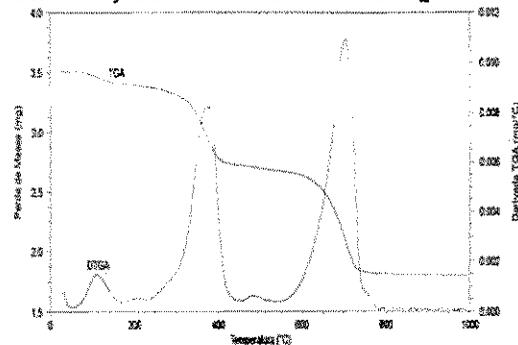
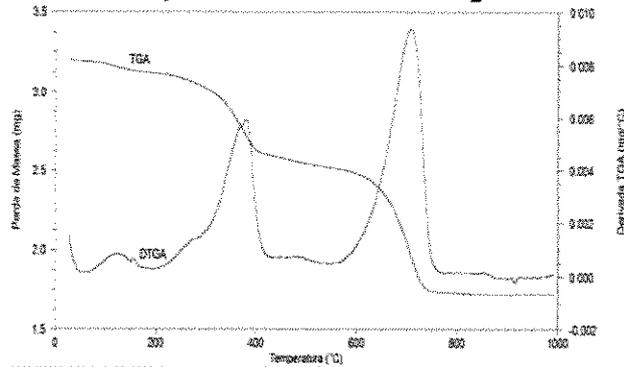


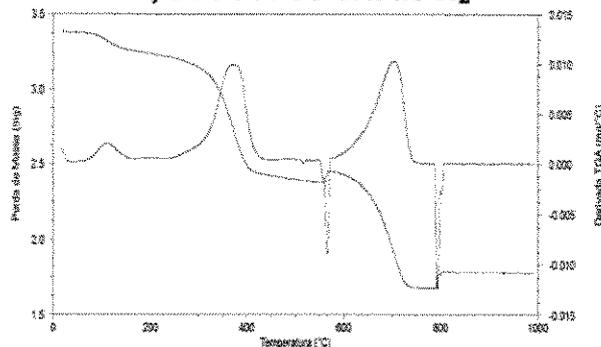
Figura 8 - Curvas TGA/DTGA da composição A45R12, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$



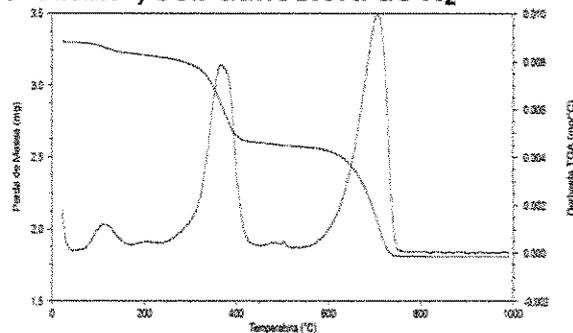
**Figura 9 - Curvas TGA/DTGA da composição A50R9, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



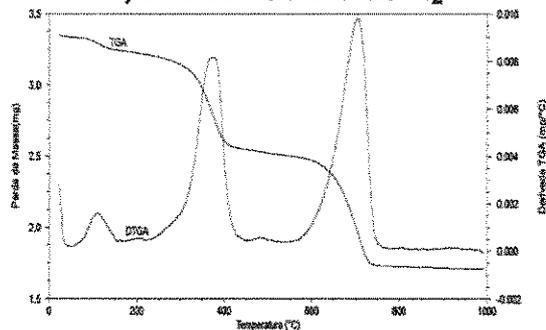
**Figura 10 - Curvas TGA/DTGA da composição A50R10, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 11- Curvas TGA/DTGA da composição A50R11, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 12 - Curvas TGA/DTGA da composição A50R12, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**

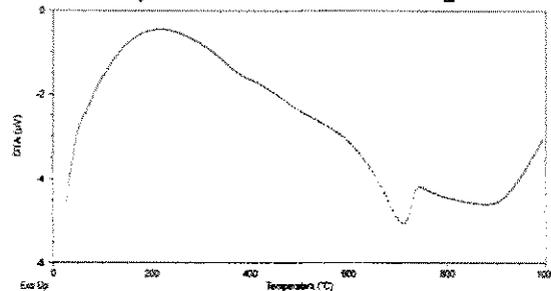


**Apêndice D**  
**Curvas DTA composições**

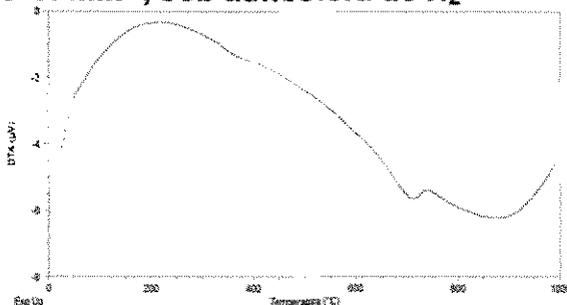
---

## 2 Curvas DTA de todas as composições estudadas

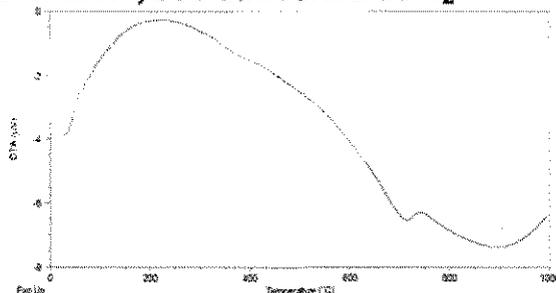
**Figura 1 - Curva DTA da composição A40R9, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



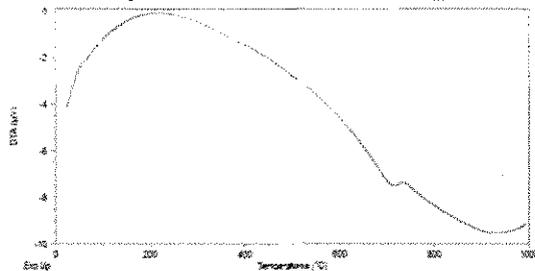
**Figura 2 - Curva DTA da composição A40R10, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



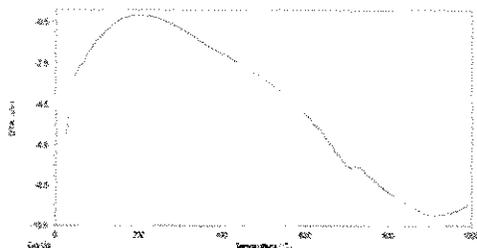
**Figura 3 - Curva DTA da composição A40R11, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



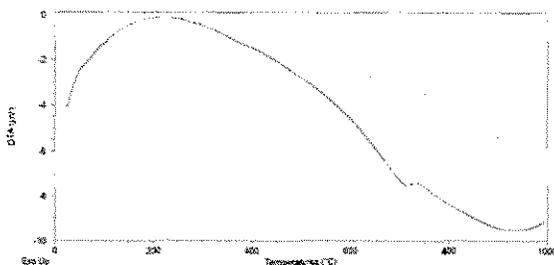
**Figura 4 - Curva DTA da composição A40R12, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



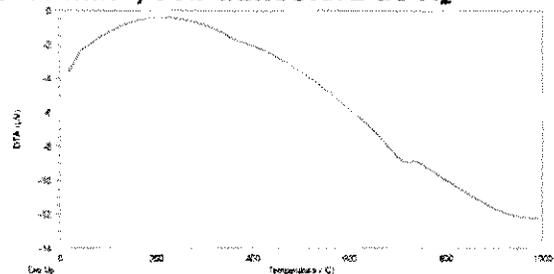
**Figura 5 - Curva DTA da composição A45R9, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



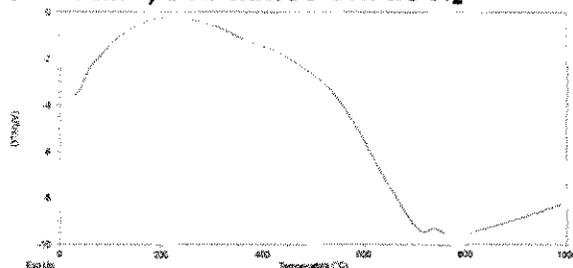
**Figura 6 - Curva DTA da composição A45R10, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



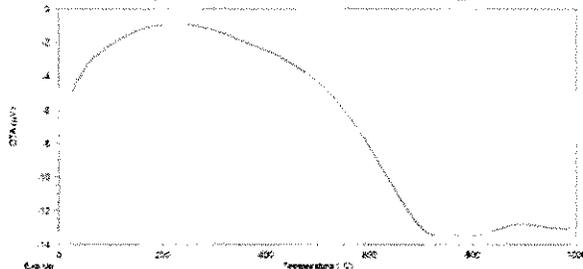
**Figura 7 - Curva DTA da composição A45R11, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



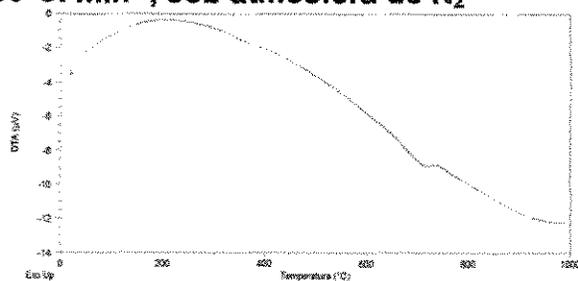
**Figura 8 - Curva DTA da composição A45R12, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



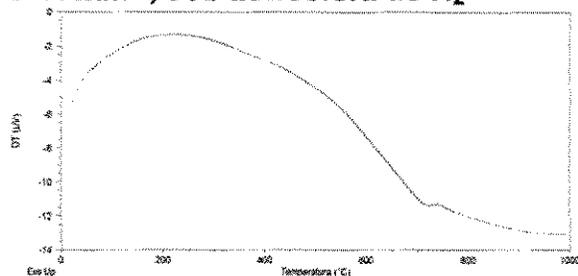
**Figura 9 - Curva DTA da composição A50R9, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



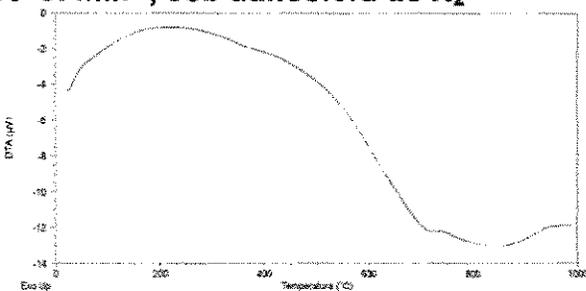
**Figura 10 - Curva DTA da composição A50R10, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 11 - Curva DTA da composição A50R11, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Figura 12 - Curva DTA da composição A50R12, obtida à razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$**



**Anexo 1**  
**Publicação**

---

## CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CAULIM, GRANITO E MÁRMORE PARA USO EM MASSAS CERÂMICAS

J.L.Sales<sup>1</sup>, C.R.S.Morais<sup>1</sup>, L.M.R. Lima<sup>1</sup>, M.E.D.Altidis<sup>1</sup>

Av. Juscelino Kubitscheck, 1800, Aptº. 302. Cruzeiro, 58.415-530 - Campina Grande,  
Paraíba, Fone: (83) 8801 7520  
josyanne27@yahoo.com.br;

<sup>1</sup>Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

### RESUMO

*O objetivo deste trabalho é beneficiar e caracterizar resíduos de caulim, mármore e granito estudando suas propriedades térmicas e espectroscópicas, na perspectiva de emprego em massas cerâmicas para produção de placas de revestimento. Os resíduos foram beneficiados através do processo de moagem a seco em moinho de galgas e passados em peneira 0,074mm (ABNT nº 200), observando-se sua adequação para formulação de massas cerâmicas. Foram realizados ensaios de caracterização físico-químicos (análise granulométrica, fluorescência de raios-X e difração de raios-X) e térmica (análise térmica diferencial e termogravimetria). Os resultados demonstraram que estes resíduos apresentaram propriedades satisfatórias para o uso a que se propõe, além de contribuir para redução dos impactos ambientais, possibilitando o reaproveitamento destes na produção de placas cerâmicas.*

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, caracterização, massas cerâmicas.

### INTRODUÇÃO

Atualmente tem ocorrido um crescente interesse na prevenção da poluição ambiental, minimização de resíduos e desenvolvimento sustentável, sobretudo no campo dos materiais. O setor mineral gera grandes quantidades de resíduos de diversos tipos e níveis de periculosidade, como por exemplo, a indústria de

*beneficiamento do caulim, a qual gera resíduos à base de caulinita em grandes quantidades. O descarte de resíduos, de um modo geral, ocasiona um impacto ambiental muito forte, o que tem justificado o esforço de pesquisa visando encontrar uma solução racional para este problema (1).*

As Marmorarias produzem enormes quantidades de resíduos em forma de retalhos de rocha provenientes de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes resíduos são obtidos do processo de recorte das peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore e granito e muitas vezes são jogados no pátio das empresas (2).

O mercado mundial de revestimento cerâmico segue sua tendência de crescimento, sendo a China líder em produção e consumo. O Brasil, com sua produção crescente, tende nos próximos anos superar Itália e Espanha, tornando-se o segundo produtor mundial. No comércio internacional, observa-se um rápido e acentuado crescimento das exportações chinesas. Os Estados Unidos da América seguem como maior mercado importador, do qual o Brasil já é o terceiro fornecedor mundial, logo, uma alternativa interessante, ainda não posta em prática, é o aproveitamento deste resíduo em massas argilosas para obtenção de revestimentos cerâmicos de forma eco-eco (econômico-ecológica) (3).

O objetivo principal desse trabalho é a utilização de resíduos gerados nas indústrias de exploração e beneficiamento de caulim, juntamente com resíduos sólidos provenientes do corte das rochas de mármore e granito para seu futuro emprego em massas cerâmicas e fabricação de placas cerâmicas para revestimento.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Materiais

Resíduo de Caulim: O resíduo de caulim que foi utilizado na pesquisa é originado da empresa Armil, localizada no município de Equador, Rio Grande do Norte.

Pedras de Granito e Mármore: Os retrazos de pedras de granito e mármore foram cedidos pela empresa Oficina do Granito, localizada no município de Cabedelo, Paraíba. Para o beneficiamento das pedras de mármore e granito, estes foram submetidos a moagem a seco, em moinho de galgas e passados em peneira de

0,074mm (ABNT nº 200), para depois então serem submetidos as técnicas de caracterização abaixo relacionadas.

## Métodos

Foram utilizadas as seguintes técnicas de caracterização: Análise Térmica Diferencial (DTA), Termogravimetria (TG); Difração de Raios-X (DRX); Análise Granulométrica à Laser e Fluorescência de Raios-X. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande, na Paraíba.

Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimetria (TG): As curvas TG/DTA foram obtidas em equipamento da Marca Shimadzu, modelo DTG 60H. As amostras pesaram em torno de  $5 \pm 0,5$  mg, sendo acondicionadas em cadinhos de alumina, com razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ , numa faixa de temperatura da ambiente até  $1000^{\circ}\text{C}$ , em atmosfera dinâmica de  $\text{N}_2$ , com fluxo de  $50\text{mL}.\text{min}^{-1}$ .

Difração de Raios-X (DRX) - O ensaio foi realizado no equipamento Shimadzu modelo DRX 6000, com radiação Cu, entre ângulos  $5^{\circ} \leq 2\theta \leq 50^{\circ}$ , com velocidade de varredura de  $2^{\circ}.\text{min}^{-1}$ , voltagem de 40kv e corrente de 30 mA.

Análise Granulométrica a Laser - A distribuição granulométrica das matérias-primas pulverulentas foi realizada com faixa  $0.04\mu\text{m} - 500.00\mu\text{m}$  / 100 Classes; CILAS 1064 Líquido.

Fluorescência de Raios-X - A composição química foi realizada através do aparelho Shimadzu X-Ray Fluorecence Spectrometer, modelo (EDX – 700/800/900 series), pelo método da pastilha, obtendo resultados baseados na perda ao fogo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### Fluorescência de Raios – X

A Tabela 1 apresenta os resultados da composição química e perda ao fogo dos resíduos de caulim, granito e mármore, todos realizados pelo método de pastilha.

Amostra dos Resíduos	PF*	CaO	SiO <sub>2</sub>	Determinações %				
				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Outros Óxidos
Caulim	2,8	-----	52,2	39,9	0,5	3,0	1,2	0,3
Granito	18,0	44,9	42,0	13,4	8,2	4,2	4,6	3,9
Mármore	44,0	131,5	6,5	1,4	0,9	-----	38,0	0,3

\*Perda ao Fogo

Tabela 1 - Composição química dos resíduos

Verifica-se que nos resultados do resíduo de caulim este apresenta alto teor de SiO<sub>2</sub> (52,2%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (39,9%), que são provenientes da sílica livre e combinada, já o K<sub>2</sub>O e MgO são provenientes da mica (4). Para o resíduo de granito observa-se a presença em maior quantidade de óxido de cálcio (CaO) com 44,9% e ainda a presença de sílica (SiO<sub>2</sub>) com 42,0%, alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 13,4% e ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 8,2%, indicando que o granito analisado é proveniente de rochas silicatadas (5), a perda ao fogo foi de 18,0%. Na análise química do mármore, observa-se a presença significativa de CaO (131,5%) já considerando a perda ao fogo de 44,0%.

Para os mármore, o teor de PF é alto, sendo superior a 25,0% e caracterizando pela presença de CaO e MgO predominantes em rochas carbonáticas. Concluindo que é viável apenas uma quantidade limitada de 16,0% em massas cerâmicas, devido à queda de desempenho com a sua adição, comprometendo o aspecto superficial (6).

No resíduo de granito são caracterizados como rochas silicáticas sobretudo pelos altos teores de SiO<sub>2</sub> (42,0%) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13,4%), o que indica que este tipo de resíduo pode ser incorporado em até 40% em massas, proporcionando melhores resultados pela porosidade ser mínima (6).

Já para o resíduo de caulim a quantidade total de ferro presente pode variar de 0,2 a 1,0% se enquadrando nos resultados obtidos, não afetando a sua quantidade para uso em revestimento (4).

#### Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimetria (TG)/DTG

A Figura 1 apresenta as curvas DTA dos resíduos de caulim, mármore e granito. Analisando a curva do caulim, verifica-se picos endotérmicos a 70°C característico da presença de água livre e 989,75°C relativo à mulita e um pico endotérmico em 602,06°C característico da presença de hidroxila. Na curva do granito, pode-se observar um pico endotérmico em torno de 716°C, e um pico

exotérmico de 734°C. Para a curva do mármore é possível observar um pico endotérmico próximo de 800°C, que ao serem confrontados com os resultados da difração demonstram que há decomposição da dolomita ( $\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$ ) (6).

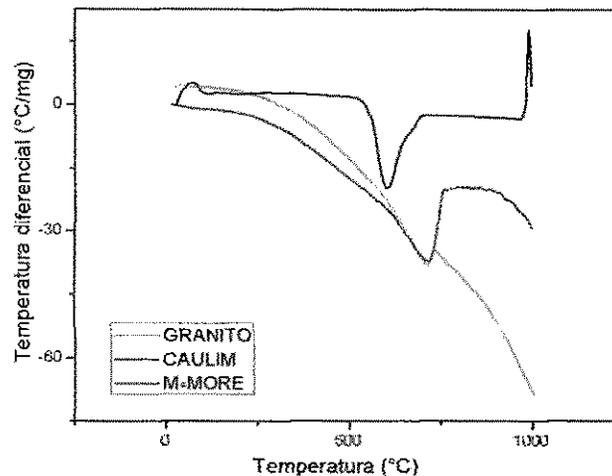


Figura 1 - Curvas DTA do resíduo do caulim, mármore e granito, obtidas a razão de aquecimento de  $10^\circ\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .

Tabela 2 - Dados da decomposição térmica dos resíduos estudados.

Amostra	Étapas de Decomposição	Faixa de Temperatura (°C)	Temperatura de Pico (°C)	Perda de Massa%
Granito	1	24 - 432	25	1,8
	2	431 - 742	687	18,0
Mármore	1	17 - 759	700	44,0
Caulim	1	68 - 120	99	1,5
	2	530 - 900	590	1,2

Na Figura 2 é apresentada a curva da TG do caulim, onde se verifica que no intervalo de temperatura de 68°C a 120°C há uma perda de massa de 1,5% referente à água livre. Entre 530°C e 900°C a perda de massa foi de 1,2% correspondente a perda de hidroxilas do material. Acima de 900°C totaliza a perda da massa em 2,8%.

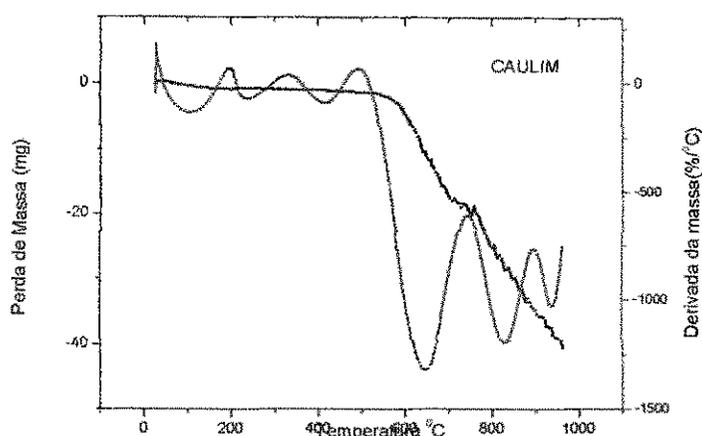


Figura 2 - Curvas TG/DTG do resíduo do caulim, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .

A Figura 3 apresenta as curvas TG/DTG do resíduo de granito. A curva termogravimétrica mostra que inicialmente ocorreu uma perda de massa em torno de 1% (5), entre a temperatura ambiente e  $432^{\circ}\text{C}$ , referente a perda de água livre e água adsorvida; em seguida temos a maior perda em torno de 18%, entre a temperatura de  $431^{\circ}\text{C}$  a  $742^{\circ}\text{C}$ , referente a decomposição do carbonato de cálcio.

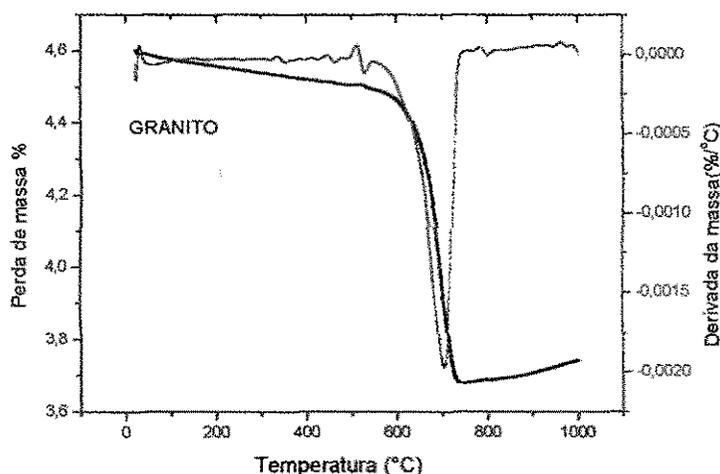


Figura 3 - Curvas TG/DTG do resíduo do granito, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .

Na Figura 4 observa-se as curvas TG/DTG do resíduo de mármore onde ocorreu uma perda de massa devido a presença da dolomita em sua composição, a etapa da decomposição dos carbonatos se diferencia, começando a sua decomposição em aproximadamente  $480^{\circ}\text{C}$ , faixa de decomposição correspondente

ao carbonato de magnésio (7), seguida pela decomposição do carbonato de cálcio e sódio, totalizando uma perda de massa de 44%.

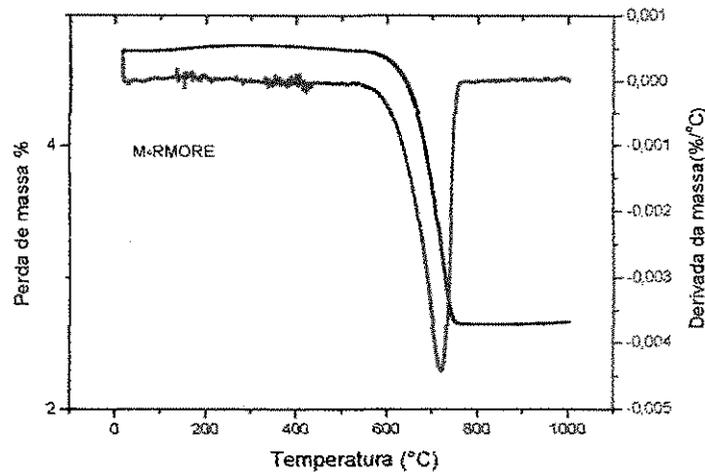


Figura 4 - Curvas TG/DTG do resíduo do mármore, obtidas a razão de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C. min}^{-1}$ , sob atmosfera de  $\text{N}_2$ .

#### Difração de Raios – X (DRX)

A Figura 5 apresenta o difratograma de raios-x do resíduo de caulim. Verifica-se que o resíduo apresenta as seguintes fases mineralógicas: caulinita caracterizada por picos com distâncias interplanares de 7,07 e 3,56Å; quartzo caracterizado pelas distâncias interplanares de 4,22 e 3,32Å e a mica com 10Å (4).

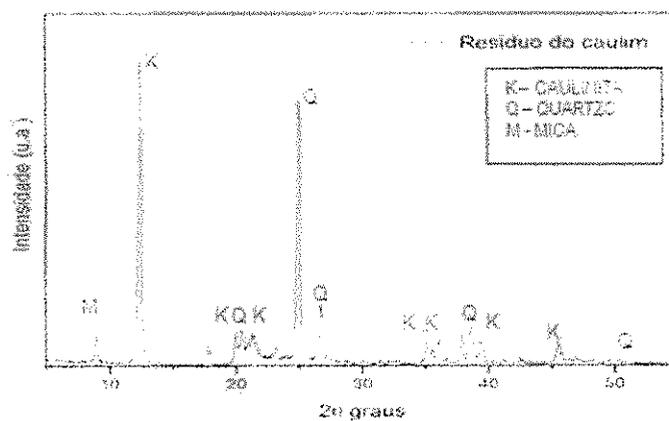


Figura 5 - Difração de raios-x do resíduo de caulim

A Figura 6 apresenta os resultados da difração de Raios-X do resíduo de granito. A principal fase cristalina encontrada foi o óxido de cálcio, correspondendo à

calcita seguindo do quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). O resíduo também apresenta picos de difração correspondentes a mica, microclina e albita. A microclina que corresponde ao feldspato e a albita são benéficos para o processamento cerâmico, pois comportam-se como fundentes (5).

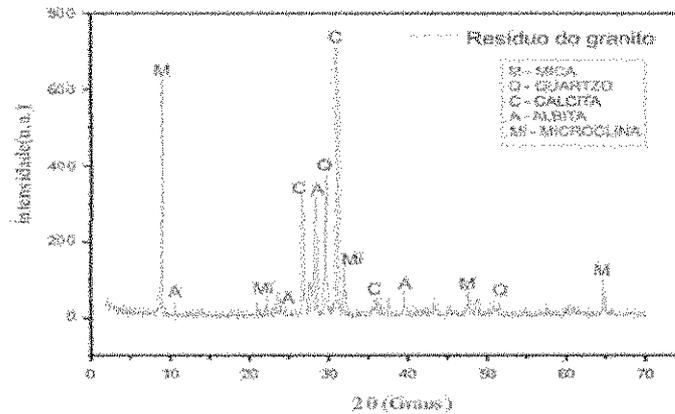


Figura 6 - Difração de raios-x do resíduo de granito

Na Figura 7, o resíduo de mármore, como esperado exibe características essencialmente típicas de rochas carbonáticas, sendo composto predominantemente de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ . Este resíduo apresenta composição característica de um mármore dolomítico, por revelar teor de 21,3% em  $\text{MgO}$  (8). No difratograma do resíduo de mármore, observa-se que os picos cristalinos predominantes são da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e da dolomita ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ).

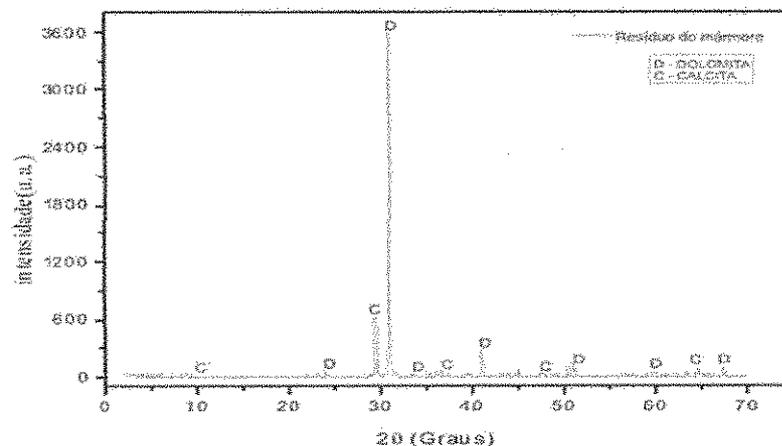
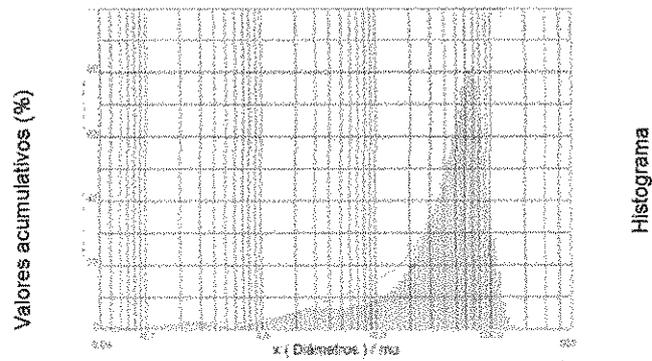


Figura 7 - Difração de raios-x do resíduo de mármore

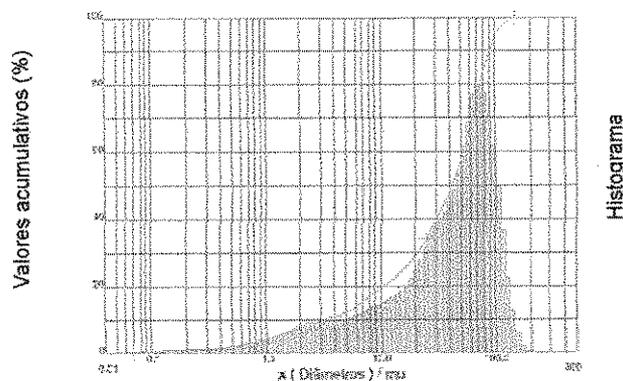
## Análise Granulométrica a Laser

A Figura 8 apresenta a distribuição de tamanho de partículas do resíduo do beneficiamento de caulim, possuindo uma distribuição granulométrica com D90 correspondente a 80,86  $\mu\text{m}$ ; D50 43,77  $\mu\text{m}$ ; D10 com 4,70  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 43,96  $\mu\text{m}$  sendo caracterizada por uma curva com comportamento modal com estreita distribuição de tamanho de partículas.



**Figura 8** - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo de caulim

De acordo com a curva encontrada na Figura 9 do resíduo de mármore, pode-se observar que foi obtida uma curva bimodal ligeiramente sinuosa, significando a presença de duas populações e este material apresentou um diâmetro médio elevado, correspondendo a 44,92  $\mu\text{m}$ . Sendo constituído dos diâmetros a 10%, 50% e 90% equivalentes a 3,64  $\mu\text{m}$ , 41,84  $\mu\text{m}$  e 89,94  $\mu\text{m}$  respectivamente.



**Figura 9** - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo de mármore

Analisando a curva presente na Figura 10 do resíduo de granito, pode-se observar que a Distribuição Granulométrica a 10%, 50% e 90% foram

respectivamente de 1,46  $\mu\text{m}$ , 21,72  $\mu\text{m}$  e 66,84  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 28,31  $\mu\text{m}$ . Foi obtida uma curva bimodal bem acentuada apresentando mais de uma população.

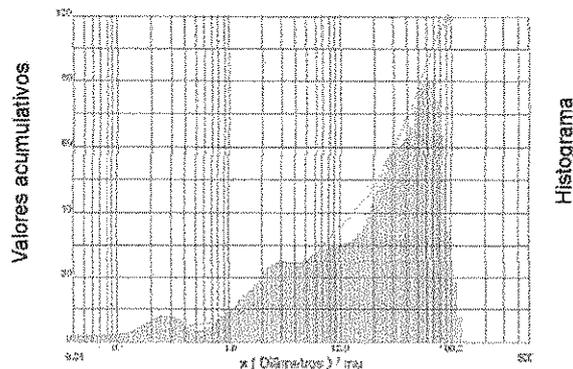


Figura 10 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo de granito

## CONCLUSÕES

Os estudos realizados com as amostras dos resíduos de caulim, mármore e granito permitiram concluir que:

- As curvas obtidas nos resultados da distribuição de tamanho de partículas dos resíduos de granito e de mármore, se mostraram similares, e como esperado também com partículas menores que 100  $\mu\text{m}$ . Esta similaridade é um indicativo de que a distribuição de tamanho de partículas destes resíduos, gerados no processo de serragem dos blocos em teares, é homogênea.
- A viabilidade da utilização dos resíduos em massas cerâmicas é reforçada pelos resultados obtidos na análise química onde se pôde observar as quantidades de CaO, Mg para o mármore, caracterizando como rochas carbonáticas e a presença de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para o granito, caracterizando como rochas silicáticas. A partir dos valores obtidos se observou sua atuação de desempenho pelo comportamento superficial e a porosidade do produto final.
- Considerando os resultados, concluiu-se que o projeto é viável já que as propriedades obtidas foram satisfatórias e os benefícios ambientais são possibilitados.

## BIBLIOGRAFIA

(1) ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **Guia de assentamento de revestimento cerâmico**. São Paulo, 2010. Disponível em: [www.anfacer.org.br](http://www.anfacer.org.br) – acesso em Dez. de 2010.

(2) SOTTORIVA, P.R.S. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, 2002.

(3) MONTANI, C. **Repertório econômico mondiale**. Faenza: Grupo editoriale Faenza Editrice. S.P.A, 2003.237p.

(4) SILVA, A.; VIDAL, M.; PEREIRA, M. **Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim**. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. 2001, vol.54, n.2, pp. 133-136. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S037044672001000200010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037044672001000200010)> Acesso em 30 de novembro de 2010.

(5) RIBEIRO, R.F.S., GONÇALVES, W.P., MORAIS, C.C.G., SANTANA, L.N.L., LIRA, H. L., NEVES, G.A., MENEZES, R.R. **Utilização do resíduo de granito em massas cerâmicas empregadas na obtenção de revestimento**. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Bahia, 2007.

(6) MELLO, R.M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granito como matéria-prima em cerâmica vermelha**. Dissertação de mestrado em Ciências na área de tecnologia Nuclear. São Paulo, 2006.

(7) BABIS, M.P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. Dissertação de mestrado em Ciência dos Materiais. Rio de Janeiro, 2009.

(8) RÉGO, J.M. **O potencial das rochas carbonáticas do Rio Grande do Norte**. Natal, 2005. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/13emc/pdf/sedec-rn.pdf>. Acesso em dez. 2010.

## **FOR PRODUCTION OF CERAMIC PLATES COATING USING WASTE KAOLIN, GRANITE AND MARBLE**

### **ABSTRACT**

The objective is to benefit and characterize waste from kaolin, marble and granite studying their thermal properties and spectroscopic in employment perspective on ceramic production of flooring boards. The residues were benefited through the process of dry grinding mill in greyhounds and passed through sieve 0.074 mm (ABNT No. 200), observing their suitability for the formulation of ceramic pastes. Tests were performed physicochemical characterization (particle size analysis, X-ray fluorescence and X-ray diffraction) and thermal (differential thermal analysis and thermogravimetry). The results showed that these residues showed satisfactory properties for the purpose for which it proposes, and contribute to reducing environmental impacts, allowing the reuse of the production of ceramic plates.

Key - words: Solid waste, characterization, ceramic bodies.

**Anexo 2**

**Boletim técnico Catalisador**

---

## **BRASNOX® TBPB**

### **BOLETIM TECNICO**

O BRASNOX® TBPB é a forma líquida, altamente pura, do peroxibenzoato de terc butila. Este produto é amplamente usado como um iniciador de reações em radicais livres de polimerização. O BRASNOX® TBPB oferece as seguintes vantagens:

- Pureza excepcional
- Contém baixo hidroperóxido
- Contém baixo teor de água
- Reatividade à baixa temperatura ambiente

### **PROPRIEDADES TÍPICAS**

Aspecto.....	Líquido Incolor levemente Amarelado
Oxigênio Ativo (%).....	>8.07
Concentração (%).....	>98,0
Densidade (g/cm <sup>3</sup> 25°C).....	1,04
Solúvel em.....	Álcoois, ésteres, cetonas, hidrocarbonetos clorados
Insolúvel em.....	Água
Parcialmente solúvel em.....	Glicóis
SADT (Temperatura de Decomposição em Auto-aceleração) (°C).....	60
Temperatura de Estocagem (°C).....	25

### **APLICAÇÃO**

O BRASNOX® TBPB é uma fonte altamente eficiente de radicais livres em temperaturas que vão de moderada à alta. Sendo assim, este composto de peróxido pode ser usado como iniciador de polimerização ou copolimerização para a produção de polietileno, poliestireno e poliacrilatos. O BRASNOX® TBPB deve ser considerado, em todas as polimerizações de monômeros e resinas, com insaturação de vinila.

### **POLIÉSTERES INSATURADOS**

O BRASNOX® TBPB é uma excelente escolha para uso como iniciador em altas temperaturas (120 - 160°C) de cura de sistemas de resina de poliéster insaturado. Quando o BRASNOX® TBPB é usado em níveis de 0,2-1,0% (com peso de resina) em SMC, BMC e outros componentes pré-misturados, foi observada uma longa vida. O BRASNOX® TBPB é excepcionalmente solúvel no sistema resina monômero. A temperatura eficiente de operação de cura de sistemas de resina poliéster insaturada

Tel: 55 11 4591-3444

e-mail: [polinox@polinox.com.br](mailto:polinox@polinox.com.br)

site: [www.polinox.com.br](http://www.polinox.com.br)

pode ser diminuída no uso do BRASNOX<sup>®</sup> TBPB através da adição de não mais de 0,1% dos 6% da solução de octoato de cobalto da resina, antes da adição do peróxido. Um efeito semelhante pode ser produzido com o uso de 2,4-Pentanodiona em níveis de 0,1 - 0,5% (com peso de resina). Ao contrário de outros promotores, o 2,4-Pentanodiona pode ser pré-misturado com o BRASNOX<sup>®</sup> TBPB antes da adição ao sistema de resina.

O BRASNOX<sup>®</sup> TBPB também pode ser combinado com outros peróxidos de temperaturas de operação mais baixas, como o peróxido de dibenzoíla ou outros peroxiesteres, a fim de obter ciclos de cura menores ou temperaturas mais baixas de moldagem. Deve-se manter em mente que o uso de co-iniciadores ou promotores com o BRASNOX<sup>®</sup> TBPB pode resultar em menor vida útil catalisada do componente da resina.

### MONÔMEROS E POLÍMEROS VINILA

O BRASNOX<sup>®</sup> TBPB pode ser uma iniciador altamente eficiente para a polimerização ou co-polimerização de monômeros metil metacrilato, acrilonitrila, isopreno, estireno-butadieno, alceno e alceno clorado. Polietilenos de baixa densidade com excelentes propriedades mecânicas podem ser obtidos quando iniciados com o BRASNOX<sup>®</sup> TBPB. Até 0,3%, o BRASNOX<sup>®</sup> TBPB pode ser usado com temperaturas de operação que variam de 80-185°C. Poliestireno de alto peso molecular pode ser produzido pelo uso do BRASNOX<sup>®</sup> TBPB em combinação com o peróxido de dibenzoíla.

### OUTROS USOS

- Vulcanização de elastômeros de borracha e silicone.
- Fabricação de óleos secantes e formulações de revestimento.
- Sínteses orgânicas que exigem radicais livres para reações conjuntas dos componentes alcenos e parafínicos, e derivados fenólicos.

### CARACTERÍSTICAS DA CURA

Um teste de reatividade com uma resina vinil éster forneceu os seguintes resultados:

Temperatura: 75°C  
 Resina éster vinilica  
 Acelerador % : 0,6% (1% cobalto) + 0,4% DMA (10%)

Iniciador	Tempo para pico mínimo	Pico exotérmico temp °C
<b>BRASNOX<sup>®</sup> TBPB</b>	<b>11</b>	<b>194</b>

### DADOS DE DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA (meia-vida em benzeno):

Temperatura	70	80	90	100	110	120	130	140
Horas	600	190	59	18	6	2	0,5	0,2

Tel: 55 11 4591-3444

e-mail: [polinox@polinox.com.br](mailto:polinox@polinox.com.br)

site: [www.polinox.com.br](http://www.polinox.com.br)



Os dados de meia-vida são gerados pelo uso de 0,2 mols/litro de peróxido específico dissolvido em um solvente, geralmente benzeno. A meia-vida deste peróxido altamente diluído é o tempo necessário para a decomposição de metade do peróxido. A taxa de decomposição é diretamente relacionada à taxa de geração de radicais livres, e estes dados de meia vida podem oferecer diretrizes na seleção de peróxido melhorado para uma determinada aplicação. Estes dados de meia vida são específicos ao solvente usado, e aplicam-se à decomposição térmica, e não só à decomposição ativada.

---

### **MAIS INFORMAÇÕES SOBRE PRODUTOS**

---

Tel: 55 11 4591-3444  
e-mail: [polinox@polinox.com.br](mailto:polinox@polinox.com.br)  
site: [www.polinox.com.br](http://www.polinox.com.br)

Tel: 55 11 4591-3444

e-mail: [polinox@polinox.com.br](mailto:polinox@polinox.com.br)

site: [www.polinox.com.br](http://www.polinox.com.br)

REVISÃO 01 - 30/10/2009

**Anexo 3**

**Boletim técnico Resina**

---

**BOLETIM TÉCNICO****RESINA POLIÉSTER UCEFLEX UC 2636**

**ASPECTO:** líquido viscoso, ligeiramente amarelado.

**DESCRIÇÃO :** Resina de Poliéster insaturada, ortoftálica, de média reatividade, média viscosidade, tixotrópica, não acelerada, de cura rápida e uniforme durante a polimerização e excelentes propriedades mecânicas finais.

**ESPECIFICAÇÕES**

Variáveis	Unidade	Valores
Viscosidade (25°C)	cP	1.000 - 1.500
Gel-Time <sup>(1)</sup> (25°C)	min.	9 - 15
Teor de Estireno	%	35 máx.
Índice de Tixotropia (25°C)	-	1,15 min.

(1) catálise para obtenção do gel-time : 100 g de resina pura à 25 °C, com 0,9 c.c. de peróxido de metiletil cetona (PMEK) e 0,6 c.c. de Cobalto a 6 %.

**VALORES TÍPICOS**

Variáveis	Unidade	Valores
Densidade (25/4°C)	-	1,10 - 1,20
Índice de Acidez	mgKOH/g	30 máx.
Resistência à Tração no Ponto de Ruptura <sup>(2)</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	700 mín.
Resistência à Flexão <sup>(2)</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	1.000 mín.

(2) resultados típicos da resina curada com reforço (30% de fibra de vidro, tipo manta)

**APLICAÇÃO :**

- Produção de Gel Coats, vernizes

**PRAZO DE VALIDADE :** 4 meses a partir da data de fabricação desde que, armazenada a temperatura ambiente em local coberto, arejado e protegido dos raios solares e umidade.

As informações deste catálogo foram obtidas através dos valores médios dos testes realizados e podem ser alterados sem prévio aviso.

**Anexo 4**

**Boletim técnico Silano**

---



Date: 09/14/2007

MSDS # 00

Revision Date:

26/10/2007

Revision # 00

## MATERIAL SAFETY DATA SHEET

### SECTION I - IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE / PREPARATION / MANUFACTURER

Material name: ProSil

Material use: Primer Agent

Prepared by: Friedrich Georg Mittelstadt, Chemist, Technical authority.

Manufactured by: Dentscare Ltda, Avenida Edgar Nelson Meister, 474, Joinville, Brazil.

Contact if there is an emergency: 55 47 3441 6100

### SECTION II - COMPOSITION / INFORMATION OF THE INGREDIENTS

Substance:	CAS. #	CONTENTS
Ethanol	64-17-5	80- 90 %
3-methacryloyloxypropyl-trimethoxysilane	2530-85-03	1-2%

### SECTION III - HAZARDS IDENTIFICATION

Flammable.

### SECTION IV - FIRST AID MEASURES

Inhalation: Remove to fresh air.

Skin Contact: Clean the skin with water and soap. Seek medical attention.

Eye Contact: Flush eyes with plenty of water (10-15 min.). Call a physician.

Ingestion: Give large amounts of water. No hazards anticipated from swallowing small amounts incidentally to normal handling.

Further information: If you feel unwell, seek medical advice (show this safety data sheet).

### SECTION V - FIRE FIGHTING MEASURES

Suitable extinguishing media Water fog, carbon dioxide, foam, dry chemicals

Extinguishing media to avoid Do not use direct water stream.

Further information Flammable liquid. Keep possible ignition sources away from vapours.

### SECTION VI - ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Dispose of according to local and national regulations.

Clean up with absorbent material such as sawdust, diatomaceous earth or universal absorbents.

Do not allow to flow off into the drains or waters.

### SECTION VII - HANDLING AND STORAGE

Handling Precautions: Only adequately trained personnel should handle this product.

Keep out of reach of children.

Storage Conditions: Keep containers tightly closed. Store at 5 - 20°C/ 23°- 68°F).

Fire- and explosion protection: Keep away from sources of ignition.



**SECTION VIII – EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION**

Respiratory Protection: Not required.  
Hand Protection: Gloves.  
Eye and Face Protection: Wear goggles and a mask.  
Technical measures: Ventilation should be sufficient.

**SECTION IX – PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

Appearance: colourless liquid  
Specific gravity: 0,869g/cm<sup>3</sup>  
Vapour pressure: 59 mbar (20°C)  
Flash point: 24 °C (closed cup)  
Explosion limits: 3.5% - 15%  
Auto ignition temperature: 460 °C  
Water solubility: miscible in all proportions

**SECTION X – STABILITY AND REACTIVITY**

Stability: Product stable in normal storage conditions.  
Hazardous Decomposition Products: None under conditions of storage and use.  
Hazardous reactions: None, if used in accordance to instructions.  
Further information: The product is flammable. Avoid ignition sources such as flames or spark producing equipment.

**SECTION XI – TOXICOLOGICAL INFORMATION**

**Acute toxicity:** Oral LD50 for rats: > 7000mg/kg  
No hazards anticipated from swallowing small amounts incidentally to normal  
**Further information:** Do not breathe vapour. Signs and symptoms of excessive exposure may be narcotic effects.

**SECTION XII – ENVIRONMENTAL INFORMATION**

No ecological problems to be anticipated if properly handled and used.

**SECTION XIII – DISPOSAL CONSIDERATIONS**

Disposal Method: In accordance with the governmental regulations of your country.

**SECTION XIV – TRANSPORT INFORMATION**

Transport at land	ADR 3	RID 3
Packing Group	II	
Air Transport	ICAO/ IATA- DGR Class 3	
	Labels Flamm, liquid	
	Packing group II	
Passenger airplane	Packing instruction 305	
	Max.	5L
Cargo Airplane	Packing Instructions 307	
	Max	60L

UF0G/BIBLIOTECA/BC



SECTION XV – REGULATORY INFORMATION

Hazard designation

Risk phrases R10 Flammable

SECTION XVI – OTHER INFORMATION

Professional Use only. The information and recommendations are based on the MSDS and information of the raw material manufacturers. Dentscare Ltda, Tax ID 05.106.945/0001-06, takes no responsibility for the accuracy of this information or for the need for further information.