

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ROCHA CARBONÁTICA  
ARTIFICIAL USANDO RESÍDUO SÓLIDO E AGLOMERANTE POLIMÉRICO**

**THAÍS PEREIRA CUNHA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO- UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
AGOSTO DE 2015**

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ROCHA CARBONÁTICA  
ARTIFICIAL USANDO RESÍDUO SÓLIDO E AGLOMERANTE POLIMÉRICO**

**THAÍS PEREIRA CUNHA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

**Orientador: Prof.D.Sc. José Nilson França de Holanda**  
**Co-orientador: Prof. D.Sc. Angelus Giuseppe Pereira da Silva**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ**  
**AGOSTO DE 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

82/2015

Cunha, Thaís Pereira

Preparação e caracterização de rocha carbonática artificial usando resíduo sólido e aglomerante polimérico / Thaís Pereira Cunha. – Campos dos Goytacazes, 2015.

59 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2015.

Orientador: José Nilson França de Holanda.

Coorientador: Angelus Giuseppe Pereira da Silva.

Área de concentração: Materiais e meio ambiente.

Bibliografia: f. 56-59.

1. RESÍDUOS DE CASCA DE OVO 2. RESÍDUOS SÓLIDOS 3. RESINA POLIÉSTER 4. MÁRMORE ARTIFICIAL 5. RESÍDUOS INDUSTRIAIS – ASPECTOS AMBIENTAIS I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados II. Título

CDD 363.7285

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ROCHA CARBONÁTICA  
ARTIFICIAL USANDO RESÍDUO SÓLIDO E AGLOMERANTE POLIMÉRICO**

**THAÍS PEREIRA CUNHA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

Aprovada em 24 de agosto de 2015.

Comissão Examinadora:

---

D.Sc . Angelus Giuseppe Pereira da Silva – UENF/CCT/LAMAV

---

P.hD. Eduardo Atem de Carvalho – UENF/CCT/LAMAV

---

D.Sc . Elaine Cristina Pereira- UNESA- Campos dos Goytacazes

---

D.Sc. José Nilson França de Holanda- Orientador- UENF/CCT/LAMAV

## DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais Elenice e Bismarque, que me ajudaram e me apoiaram a todo momento no decorrer deste curso. Obrigada Pai por todas as palavras de incentivo, força e coragem, o senhor foi fundamental. Amo vocês demais.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que me deu forças e capacidade, aos meus pais pelo incentivo a todo instante, aos amigos do Lamav : Kátia Isabel, Tarcília, Talita, Kelly, Lorena, Pâmela, Felipe, Bárbara, Mila, André, Mariane, Valdenir e Elisângela pelo companheirismo, ajuda, apoio e alegrias compartilhadas no decorrer deste curso.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF

Aos técnicos do Lamav Bruno e Gabriel por toda ajuda a mim atribuída . Meu muito obrigado.

Aos professores do curso, principalmente meu Professor orientador José Nilson pela confiança e apoio.

## Sumário

Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tabelas.....	x
Índice de Fórmulas.....	xi
Abreviões.....	xii
Resumo.....	xiii
Abstract.....	xiv
<b>Capítulo 1 – Introdução.....</b>	<b>01</b>
1.1- Aspectos gerais.....	01
1.2- Objetivos.....	02
1.3- Justificativas.....	02
<b>Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>03</b>
2.1-Rochas Naturais.....	03
2.1.1- Classificação das Rochas.....	03
2.1.2- Textura das Rochas.....	05
2.2-Rochas artificiais.....	07
2.3-Resíduos Sólidos.....	09
2.4-Reciclagem de Resíduos sólidos.....	11
2.4.1- Resíduo de Casca de ovo de Galináceo.....	12
2.4.2- Impactos ambientais causados pelo resíduo de casca de ovo de galinha.....	14
2.5-O Carbonato de Cálcio.....	15
2.5.1- O Mármore.....	15
2.5.2- O Mármore Sintético.....	16
2.6-Processo de fabricação de Rocha Artificial.....	17
2.7-Resinas.....	18
2.7.1- Tipos e propriedades das Resinas.....	19
2.7.2- Resinas de Poliéster Insaturada.....	20
2.8 – Uso de resíduos na produção de Rochas Artificiais.....	21
<b>Capítulo 3 – Materiais e Métodos.....</b>	<b>27</b>
3.1- Matérias Primas.....	28
3.2- Caracterização do resíduo de casca de ovo.....	29
3.2.1- Composição química.....	29

3.2.2- Análise Granulométrica.....	29
3.2.3- Difração de Raios-x (DRX).....	30
3.3- Formulação e preparação dos corpos de prova.....	30
3.4- Propriedades Técnicas.....	32
3.4.1- Absorção de Água e Porosidade Aparente.....	32
3.4.2- Densidade Bulk .....	33
3.4.3- Tensão de Ruptura à flexão.....	33
3.5- Análise microestrutural( MEV).....	34
3.6- Difração de raios-x .....	34
<b>Capítulo 4- Resultados e Discussões.....</b>	<b>35</b>
4.1- Caracterização do resíduo de casca de ovo.....	35
4.1.1- Composição Química.....	35
4.1.2- Caracterização Mineralógica(DRX).....	36
4.1.3- Análise Granulométrica.....	36
4.1.4- Densidade real dos grãos e umidade.....	37
4.2-.Aparência dos corpos de prova.....	38
4.3- Análise Microestrutural .....	40
4.4- Análise via Difração de raios-x .....	45
4.5-Propriedades técnicas da rocha carbonática artificial.....	47
4.5.1-Considerações finais.....	53
<b>Capítulo 5- Conclusões.....</b>	<b>54</b>
5.1- Conclusões.....	54
5.2- Sugestões para trabalhos futuros.....	55
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>



## Índice de Figuras

Figura 2.1- Classificação dos resíduos sólidos (NBR 10004-ABNT,2004).....	11
Figura 2.2 -Distribuição dos materiais que compõem os resíduos urbanos (Meio Ambiente, 2012).....	11
Figura 2.3 – Casca de ovo de galinha(Corrêa, 2014).....	13
Figura 2.4 – Aparência das rochas artificiais disponíveis comercialmente (Ribeiro,2011).....	16
Figura 2.5 – Fluxograma de fabricação de rochas aglomeradas (CompacMarmolequartz,2010).....	17
Figura 2.6 – Demonstração do processo de vibro-compressão a vácuo (Ribeiro,2011).....	18
Figura 2.7- Parâmetros tecnológicos de referências para rochas(Menezes e Larizzatti,2005).....	23
Figura 2.8 – Itabirito com domínios de quartzo e hematita.(Silva, 2013, apud Machado,2012).....	24
Figura 2.9 – Fluxograma para a fabricação da pedra composta de quartzo.(Silva,2013).....	25
Figura 2.10 – Amostras de pedra composta de resíduo de quartzo.(Silva,2013).....	25
Figura 2.11 – Micrografia da superfície compactada (A) e da superfície de fratura(B) com aumento de 750 vezes.....	26
Figura 3.1 – Fluxograma das etapas envolvidas no procedimento experimental.....	27
Figura 3.2 – Invólucro e moldes de silicone usados na confecção dos corpos de prova.....	31
Figura 4.1 – Difratoograma de raios-x da amostra de casca de ovo galináceo.....	37
Figura 4.2 – Curva granulométrica do resíduo de casca de ovo galináceo.....	37
Figura 4.3 - Formulação resina poliéster/RCOG 50 x 50.....	38
Figura 4.4 - Formulação resina poliéster/RCOG 55 x 45.....	38
Figura 4.5 - Formulação resina poliéster/RCOG 60 x 40.....	39

Figura 4.6 - Formulação resina poliéster/RCOG 65 x 35.....	39
Figura 4.7 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 50x50 ( 60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 100x .....	40
Figura 4.8 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 50x50 ( 100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	40
Figura 4.9 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 50x50 ( 150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	41
Figura 4.10 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 55x45 ( 60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	41
Figura 4.11 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 55x45 ( 100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	41
Figura 4.12 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 55x45 ( 150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	42
Figura 4.13 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 60x40 ( 60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	42
Figura 4.14 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 60x40 ( 100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	42
Figura 4.15 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 60x40 ( 150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	43
Figura 4.16 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 65x35 ( 60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	43
Figura 4.17 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 65x35 ( 100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	43

Figura 4.18 – MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 65x35 ( 150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.....	44
Figura 4.19 – DRX da rocha carbonática artificial em diferentes percentuais de resina /resíduo e granulometria de 60 mesh.....	45
Figura 4.20 - DRX da rocha carbonática artificial em diferentes percentuais de resina /resíduo e granulometria de 100 mesh.....	46
Figura 4.21 - - DRX da rocha carbonática artificial em diferentes percentuais de resina /resíduo e granulometria de 150 mesh.....	46
Figura 4.22 – Ficha padrão da calcita ( $\text{CaCO}_3$ )nº 01-0837.....	47
Figura 4.23 – Densidade Bulk dos corpos de prova de rocha carbonática .....	49
Figura 4.24 – Absorção de água dos corpos de prova de rocha carbonática...50	
Figura 4.25 – Porosidade aparente dos corpos de prova de rocha carbonática.....	51
Figura 4.26 – Tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova de rocha carbonática.....	52

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Diversos materiais e o seu tempo de degradação(Universo Sustentável,2012).....	10
Tabela 2.2- Composição química do resíduo de mármore : Dolomito (Ribeiro,2011).....	22
Tabela 2.3- Comparação de algumas propriedades físicas entre o mármore natural e artificial ( Martins e Pereira,2004, apud Ribeiro,2011).....	23
Tabela 3.3 – Formulações testadas de resina poliéster /RCOG.....	30
Tabela 4.1- Composição química do resíduo de casca de ovo de galinha.....	35
Tabela 4.2 – Características do resíduo de casca de ovo de galinha.....	37
Tabela 4.3 – Propriedade técnicas dos corpos de prova produzidos.....	48

## Índice de Fórmulas

Perda ao fogo (Equação 1).....	30
Absorção de Água (Equação 2).....	33
Porosidade Aparente (Equação 3).....	33
Densidade Bulk (Equação 4).....	34
Tensão de ruptura à flexão (Equação 5).....	34

## **Abreviações**

RCOG	Resíduo de Casca de ovo galináceo
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PVC	Policloreto de Vinila
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PS	Poliestireno
EVA	Espuma Vinílica Acetinada
PD	Paládio
DRX	Difração de Raios x

Resumo da dissertação apresentada ao CCT-UENF como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.

## **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ROCHA CARBONÁTICA ARTIFICIAL USANDO RESÍDUO SÓLIDO E AGLOMERANTE POLIMÉRICO**

**Thais Pereira Cunha**

24 de agosto de 2015

**Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda**

**Co-orientador: Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva**

### **RESUMO**

O resíduo de casca de ovo galináceo é um material de resíduo sólido gerado em larga escala que apresenta dificuldades de descarte final. Neste trabalho foi estudada a possibilidade de preparação de uma rocha carbonática artificial utilizando o resíduo de casca de ovo como carga mineral juntamente com a resina poliéster insaturada. Foram produzidos corpos de prova de rocha carbonática com distintas composições resina/resíduo em distintas granulometrias do resíduo de casca de ovo (60 mesh, 100 mesh e 150 mesh). As misturas de resíduo de casca de ovo e resina poliéster foram homogeneizadas e depositadas em moldes retangulares. Os moldes foram colocados em um invólucro e vibrados a vácuo, com o intuito de retirar o máximo possível de ar presente no compósito resina/resíduo. As seguintes propriedades técnicas dos corpos de prova preparados foram determinadas: densidade bulk, absorção de água, porosidade aparente e tensão de ruptura a flexão. A microestrutura foi avaliada via microscopia eletrônica de varredura e difração de raios-X. Os resultados experimentais indicaram que o resíduo de casca de ovo galináceo apresenta grande potencial para ser usado na preparação de rocha carbonática artificial.

Palavras- chaves: Rocha artificial, Resíduo de casca de ovo, Resina poliéster

Abstract of the thesis presented to CCT-UENF as part of the requirements for obtaining Master degree in Materials Science and Engineering.

## **PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CARBONATIC ROCKARTIFICIAL USING SOLID WASTE AND BINDER POLYMERIC**

**Thais Pereira Cunha**

August 24, 2015

**Advisor: Prof. José Nilson França de Holanda**

**Co-advisor: Prof. Angelus Giuseppe Pereira da Silva**

### **ABSTRACT**

The avian eggshell waste is a solid waste material generated on a large scale with difficulties for final disposal. In this work was studied the possibility of preparing artificial carbonate rock using the eggshell waste as filler along with the unsaturated polyester resin. The carbonate rock specimens were produced with different compositions resin/waste in different grain sizes of eggshell waste (60 mesh, 100 mesh, and 150 mesh). Mixtures of eggshell waste and polyester resin were mixed and deposited in to rectangular molds. The molds were placed in a vacuum casing and vibrated in order to remove the maximum amount of air present in the composite resin/waste. The following technical properties of the prepared specimens were measured: bulk density, water absorption, apparent porosity, and flexural strength. The microstructure was evaluated via scanning electron microscopy and X-ray diffraction. The experimental results indicated that the avian eggshell waste has great potential to be used in the preparation of artificial carbonate rock.

Keywords: Artificial rock, Eggshell residue, Polyester resin.



## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 Aspectos Gerais

O crescimento acentuado da população mundial e suas necessidades ocasionaram um aumento significativo na quantidade de resíduos sólidos industriais e urbanos, os quais são frutos de diversos produtos descartáveis como plásticos, metais, cerâmicos, papéis e, também, de origem orgânica. Com o aumento desenfreado do volume de resíduos, originou-se uma preocupação com destino dos mesmos, uma vez que estes causam inúmeros impactos ambientais como: contaminação de cursos d'água, solos, subsolos e o ar. (Oliveira *et al.*, 2009)

Entre os principais resíduos sólidos gerados na indústria de processamento de alimentos está o resíduo de casca de ovo, que é rico em material de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Oliveira *et al.*, 2009). Atualmente existe uma enorme dificuldade no descarte final deste resíduo, onde geralmente é jogado em aterros ou lixões. Estes tipos de disposições resultam em altos custos para as empresas, além de causar problemas ambientais.

Existe uma gama enorme de rochas artificiais que são empregadas na construção civil, principalmente em banheiros, cozinhas, e revestimentos de pisos e paredes. As rochas artificiais comerciais são geralmente denominadas de Nanoglass, Marmoglass, Aglostone, Technistone, entre outras (Toncelli, 2008). Além disso, elas podem ser classificadas conforme o método de produção como rochas aglomeradas ou vidro cristalizado. Estas rochas artificiais apresentam excelentes características e propriedades técnicas tais como cor, textura, brilho, resistência mecânica, absorção de água (porosidade aberta) e dureza. O resíduo de casca de ovo proveniente da indústria de processamento de alimentos tem sido amplamente estudada como formas de reaproveitamento e incorporação em materiais cerâmicos. Entretanto não tem sido ainda empregado na fabricação de rocha artificial.

Neste contexto, o presente trabalho de dissertação de mestrado é voltado para o estudo da possibilidade de reuso de resíduo de casca de ovo no desenvolvimento de rocha carbonática artificial.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho de dissertação de mestrado é estudar o processamento e caracterização de rocha carbonática artificial (mármore composto), utilizando resíduo sólido proveniente da indústria de processamento de alimentos (resíduo de casca de ovo) e resina polimérica (ligante orgânico).

São objetivos específicos deste trabalho:

- a) Caracterização das matérias-primas utilizadas.
- b) Beneficiamento do resíduo de casca de ovo.
- c) Preparação da rocha artificial com resíduo de casca de ovo e resina polimérica (corpos-de-prova) em escala de laboratório.
- d) Caracterização física e mecânica da rocha artificial produzida.
- e) Caracterização microestrutural da rocha artificial.

## 1.3 Justificativas

O Brasil gera enorme quantidade de resíduo de casca de ovo, cujo descarte final é um grande problema ambiental e econômico da indústria de processamento de alimentos. O resíduo de casca de ovo é um material rico em carbonato de cálcio. Neste contexto, é importante estudar a possibilidade de reaproveitar resíduo de casca de ovo na produção de uma nova rocha carbonática artificial para uso na construção civil. Em particular, a correlação entre a quantidade de resíduo adicionado, propriedades técnicas e microestrutura vai direcionar o possível aproveitamento do resíduo de casca de ovo na produção de rocha carbonática artificial. Portanto, a dissertação de mestrado desenvolvida no tema proposto é de alto interesse tecnológico e ambiental nacional.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1- Rochas Naturais

De acordo com Lucciet al (2004), rochas são agregados naturais compostos de alguns minerais ou de um único mineral. Para ser considerada rocha o agregado tem que ter representatividade à escala cartográfica (ter volume suficiente) e ocorrer repetidamente no espaço e no tempo, ou seja, o fenômeno geológico que forma a rocha deve ser importante na história geológica para se dizer que faz parte da dinâmica da terra.

#### 2.1.1- Classificação das rochas

As rochas podem ser classificadas de acordo com a sua composição química, forma estrutural ou textura, sendo mais comum classificá-las conforme o seu processo de formação. Assim, segundo suas origens ou maneiras como foram formadas, as rochas são classificadas como: Ígneas, sedimentares e metamórficas (E-civil, 2014).

- **Rochas Magmáticas ou Ígneas** resultam da consolidação de material em estado de fusão, proveniente do manto. Elas constituem aproximadamente 80 % da crosta terrestre e se subdividem em dois tipos: extrusivas e intrusivas.
  - ✓ Extrusivas ou Vulcânicas: São formadas por meio de erupções vulcânicas através de um rápido processo de resfriamento na superfície.  
Ex: Basalto e a Pedra Pome (cujo resfriamento se dá na água).
  - ✓ Intrusivas ou Plutônicas: Que se formaram internamente, num processo lento de resfriamento.  
Ex: granito e Diabásio.

As rochas magmáticas intrusivas aparecem na superfície quando a erosão remove as outras rochas que as encobrem. São os afloramentos. O granito é

muito utilizado no revestimento de pisos e paredes e na fabricação de tampos de pias. (E-civil,2014)

- **Rochas Sedimentares** resultam na deposição de detritos de outras rochas e/ou de acúmulo de detritos orgânicos (sedimentos). Normalmente a deposição ocorre em camadas horizontais. Quanto á origem, as rochas sedimentares são classificadas em:
  - ✓ Detríticas: Constituídas pela acumulação de fragmentos de outras rochas (Magmáticas, Metamórficas ou mesmo Sedimentares).  
Ex: Areia, Arenito, Argila, Folhelho, Varvito, Conglomerado e Tilito.
  - ✓ Químicas: Provenientes de transformações químicas que alguns materiais em suspensão sofrem na água.  
Ex: sal-gema, que corresponde a depósitos de cloreto de sódio, os quais são encontrados em áreas onde possivelmente havia mar.
  - ✓ Orgânicas: Formadas pela ação de animais e vegetais ou pela acumulação dos seus dejetos.  
Ex: O calcário, resultante da acumulação de restos de conchas, corais, etc. Essa é uma das rochas mais abundantes e mais utilizadas pelo ser humano. Outro exemplo é o carvão mineral que se formou da decomposição de restos vegetais que permaneceram enterrados por milhões de anos.

As rochas sedimentares têm grande importância econômica, pois nelas se encontram riquezas minerais como o carvão mineral e o petróleo. A areia, o Varvito e o Calcário também são muito utilizados pelo setor de construção civil(E-civil,2014).

- **Rochas Metamórficas:** Resultam da transformação (metamorfização) em condições de pressão e de temperatura bastante elevados, de rochas preexistentes. As principais rochas metamórficas são o gnaiss formado a partir da transformação do granito; a ardósia resultado da transformação do xisto; e o mármore que resulta da transformação do calcário. A ardósia e

principalmente o mármore são bastante empregados na construção civil (Lucciet *al.*, 2004)

### 2.1.2 - Textura das rochas

Conforme Cavinato, 1998, a textura das rochas sedimentares pode ser descrita como:

- Clástica: Formada por fragmentos decompostos de rochas e ou minerais e conchas pré-existentes. Pode ter seus componentes cimentados por calcita ou óxido de ferro.
- Cristalina: Composta por cristais que foram precipitados de soluções saturadas.
- Orgânica: Formada principalmente por resíduos orgânicos bem conservados como plantas, conchas ou ossos.

A textura das rochas ígneas pode ser descrita como:

- Granular: Grãos de cristais que podem ser observados a olho nu, de tamanhos variados.
- Afanítica: Cristais minúsculos, visíveis com lupa.
- Vítreas: Vidros vulcânicos ou cristais micrométricos.
- Piroclástica: Rochas fragmentadas com lascas de vidros vulcânicas.
- Porfírica: Cristais maiores, fenocristais, incrustados em massa de granulação mais fina.

A textura das rochas metamórficas pode ser descrita como:

- Ardósia: Cristalização fina com alinhamento paralelo dos minerais, possibilitando fracionamento ao longo dos planos de clivagem.
- Xistosa: Minerais alinhados em faixas paralelas facilmente visíveis, que facilita a fragmentação.
- Gnáissica: São rochas de texturas bem orientadas, foliações grossas, minerais granulares grossas e facilmente identificáveis, como o gnaisse.
- Granoblástica: Formada por grãos grandes de minerais cristalizados ao mesmo tempo e que assim se interpenetram, permanecendo suficientemente grandes e identificáveis, como o mármore.

- Hornfels: Rocha composta, finamente granulada que se fragmenta de maneira angular.

As rochas são materiais abundantes na natureza, as quais têm sido ao longo do tempo largamente utilizado pelo homem. Verifica-se que, a partir das rochas, são fabricados inúmeros produtos importantes para a construção civil, bem como em diversos ramos da economia, como a agricultura, indústria alimentícia, de computadores entre outros (Rheinheimer,2001).

Na construção civil dentre as rochas mais usadas pelo homem, as que mais se destacam são: basalto, argila, ardósia, mármore e granito (Mundo Educação, 2014). Estas rochas são utilizadas como matérias-primas de materiais como pisos, revestimentos, mesas e inúmeros outros produtos. Ao longo da história até os dias atuais, o homem desenvolveu técnicas para transformar física e quimicamente as rochas. Um exemplo disso é a fabricação do concreto, utilizado pela primeira vez pelos Romanos (Mundo Educação, 2014). Entretanto, com o uso em demasia das jazidas para exploração comercial e industrial, verificou-se o esgotamento de inúmeras delas em vários lugares do mundo, além dos impactos ambientais causados com a exploração do minério (Mundo educação, 2014).

Segundo Lucciet *al* (2004), as jazidas esgotadas ficam muitas vezes abandonadas, deixando um rastro de imensas crateras, nas quais os processos de erosões tendem a intensificar os danos ambientais, assoreando e contaminando solos e cursos d'água. Em diversos países as mineradoras que encerram suas atividades em determinada área de extração são obrigadas, por lei, a reflorestá-la. Contudo esse reflorestamento não garante a recuperação do habitat natural. (Lucciet *al*,2004)

No Brasil muitas mineradoras simplesmente abandonam as jazidas que se tornaram economicamente inviáveis, agravando os danos ambientais. Como forma de se evitar mais impactos contra o meio ambiente, pesquisas começaram a ser feitas a fim de encontrar outras formas de produzir o mesmo produto, neste caso, uma rocha artificial (Lucciet *al.*, 2004).

## 2.2 - Rochas Artificiais

A pedra artificial usualmente conhecida como pedra industrializada ou composta é fabricada por 95% de agregados naturais, sendo dessa forma considerada praticamente um material natural. Os agregados que formam as pedras artificiais podem ser constituídos por partículas de mármore, granitos triturados, areias de quartzo, cristais de vidro como sílica ou óxido de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), que são misturados juntamente com agentes aglutinantes, como as resinas de poliéster por exemplo, originando assim a pedra artificial (Pedra artificial,2014).

Podem-se destacar três tipos ou linhas de produção, a realizada através de partículas de mármore e resina de poliéster, a conhecida como mármore composto, a superfície de vidro cristalizado e a produção feita por agregados de quartzo e granito triturado, conhecido por superfície de quartzo (Pedra artificial, 2014).

Ao ser produzida com vidro, a rocha artificial oferece brilho, absorção nula de água e alta durabilidade. Ao ser produzida com partículas de mármore, essa proporciona uniformidade de cor e textura. Ao ser produzida com base de quartzo e granito, esses conferem grande dureza ao material. No Brasil, algumas marcas conhecidas no exterior podem ser encontradas, como a Technistone e a Silestone que comercializam materiais a base de quartzo (Pedra artificial,2014)

As rochas artificiais ou sintéticas não é uma coisa nova. Por exemplo, um tipo de formulação de rocha artificial foi desenvolvido em 1769 usando uma mistura composta de argila, quartzo e pó de vidro sodo-cálcico, a qual foi submetida a processo de queima a 1100 °C (Costalonga, 2012).

Após cura, as rochas artificiais podem apresentar propriedades técnicas como durabilidade e resistência mecânica comparável ao de algumas rochas naturais. Estas são empregadas no revestimento de pisos, paredes, banheiros, cozinhas e em áreas externas. Elas são conhecidas geralmente por seus nomes comerciais, tais como: Nanoglass, Marmoglass, Aglastone, Technistone entre outros (Costalonga, 2012).

De acordo com seu método de fabricação, as rochas artificiais podem ser divididas em rochas aglomeradas ou vidro cristalizado (Costalonga 2012):

- Rochas aglomeradas: Resultantes da mistura de particulados de rochas de diferentes tamanhos, pó de vidro, pigmentos e um aglomerante de resina polimérica ou cimento.
- Vidro Cristalizado: Consiste na fusão de uma formulação de vidro numa temperatura usual de 1400 °c.

A seguir será apresentada uma breve descrição das principais rochas artificiais conhecidas:

### **Marmoglass:**

Corresponde ao resultado da fusão da sílica que é submetida a um processo de alta temperatura bastante semelhante às condições naturais de formação de rochas. A matéria-prima utilizada e a técnica de fusão originam um produto similar à estrutura de um mármore, que por esse motivo é denominado de Marmoglass. Ele possui alta durabilidade, resistência a intempéries e excelente estabilidade química, além de baixa porosidade (Lima, 2010).

O Marmoglass pode ser utilizado para decoração interna e externa de hotéis, escritórios, aeroportos, decoração de alto padrão de casas (tanto como revestimentos e pavimentos). Pode também ser utilizado em: tampos de balcão, pias, lavatórios, peças de mobiliário e decorações residenciais (Big pedras, 2014).

### **Nanoglass:**

De acordo com a Alicante (2014), o Nanoglass é um produto de superfície de vidro cristalizado, que passa por um processo de fusão constante, entre o vidro e os agentes aglutinantes, pó de mármore. Esse processo é importante devido os microfuros presentes no Marmoglass serem totalmente eliminados, dando ao Nanoglass uma superfície mais homogênea e compacta. Pode ser usado em ambientes internos e externos e permite o repolimento.

### **Aglastone:**

Trata-se de um mármore composto de excelente qualidade técnica (baixa absorção de água, resistência a impactos e riscos), bem como possui uniformidade de cor e textura. Normalmente é fabricado em duas linhas principais: Mícron e Tradicional.

Na linha Mícron, o mármore composto é produzido pela junção do pó fino do



mármore natural e aglutinantes (resina), o que lhe confere aparência uniforme, com predomínio das tonalidades bege e branco(Alicante,2014).

A linha tradicional, leva em sua composição diferentes tamanhos de partículas de mármore, obtendo-se assim um produto bastante semelhante ao mármore natural, com diversos nomes comerciais quanto à suas características e cores, tais como: Botticino Italiano, Verde Alpi, Rosso Verona, entre outros (Alicante, 2014).

O aglastone é bastante utilizado em decorações e confecção de objetos ornamentais, além de ser indicado para ambientes internos e de grande circulação, como pisos de aeroportos, shopping centers, supermercados, etc.Também é muito usado para tampos de lavatórios, balcões, revestimento de banheiros e pisos de residências. Sua utilização em áreas externas com ação direta dos raios U.V. fica comprometida, uma vez que, o material não suporta tais radiações, assim como ácidos do dia-a-dia, como vinagres e suco de limão por exemplo, sendo contra indicados o seu uso em bancadas de cozinhas e laboratório(Alicante,2014).

#### **Technistone:**

Correspondem a um mármore industrializado com alta resistência a impactos, riscos, ácidos e alcalinos. Não absorve água e sua durabilidade é alta. É ideal para ser usado em ambiente de tráfego pesado, como shoppings, aeroportos, mas também pode ser utilizado em ambientes internos como pias de cozinhas, lavabos de banheiro, escadas, paredes, entre outros (Via Marmi, 2014).

### **2.3- Resíduos Sólidos**

Segundo Biodone e Povinelli (1999), resíduos sólidos provêm das atividades humanas, sejam elas de qualquer natureza e resultam sempre de materiais diversos.

A crescente industrialização e o aumento do poder aquisitivo das populações, de forma geral vêm aumentando a geração de grandes volumes de resíduos sólidos, principalmente nos grandes centros urbanos. Os resíduos considerados não reutilizáveis eram chamados até recentemente de lixo (Biodone e Povinelli, 1999).

A Tabela 2.1 apresenta diversos materiais e seu tempo de degradação.

**Tabela 2.1** - Diversos materiais e o seu tempo de degradação (Universo Sustentável, 2012).

<b>MATERIAL</b>	<b>TEMPO</b>
Jornais	De 2 a 6 semanas
Embalagens de papel	De 1 a 4 meses
Guardanapos de papel	3 meses
Bitucas de cigarro	2 anos
Palito de fósforo	2 anos
Chiclete	5 anos
Restos orgânicos( Frutas, casca de ovos e outros)	3 meses a 12 meses
Nylon	De 30 a 40 anos
Copinhos de plástico	De 200 a 450 anos
Latas de alumínio	De 100 a 500 anos
Tampas de Garrafas	De 100 a 500 anos
Pilhas e baterias	De 100 a 500 anos
Garrafas de plástico (pet)	Mais de 500 anos
Pano	De 6 a 12 meses
Vidro	Indeterminado
Madeira Pintada	13 anos
Frauda descartável	600 anos
Pneus	Indeterminado
Cerâmicas	Indeterminado
Embalagens longa vida	Até 100 anos
Sacolas plásticas	Mais de 100 anos

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos são classificados conforme ilustra a figura 2.1.

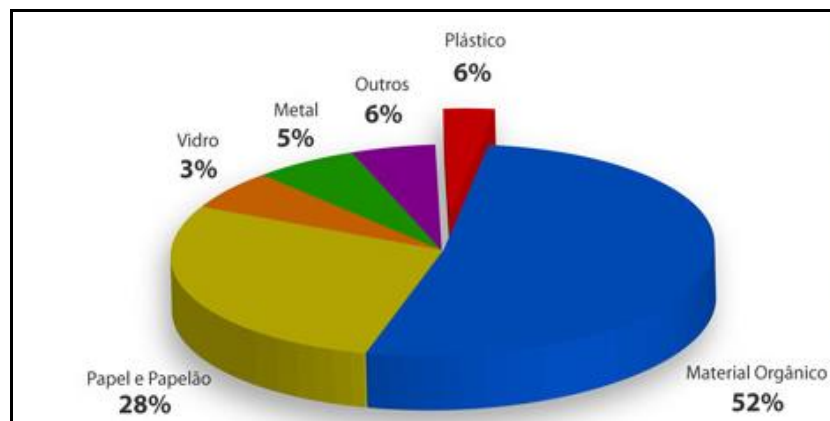
Classes	Classificação	Características/Exemplos
CLASSE I	Perigosos	Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
CLASSE II	Não perigosos	Resíduo de restaurante (restos de comida); resíduo de papel e papelão; resíduo de madeira; resíduo de borracha e plástico.
CLASSE II - A	NÃO INERTE	Biodegradável, combustível e solúvel em água.
CLASSE II - B	INERTE	Não apresenta atividade, não reage, não é solúvel em água.

**Figura 2.1-** Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR10004(ABNT,2004)

#### 2.4 -Reciclagem de resíduos sólidos

A reciclagem de resíduos é um processo de grande importância para manter o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida das pessoas. Este processo reduz a quantidade de recursos retirados da natureza, além de colaborar como fonte de renda para muitos trabalhadores (4ª CNMA,2013)

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE, 2008, dados revelam que cerca de 180 mil toneladas de resíduos sólidos são recolhidos por dia no Brasil. Na Figura 2.2 é ilustrada a distribuição dos resíduos sólidos urbanos. Observa-se que o resíduo orgânico é o maior contribuinte do total de materiais descartados.



**Figura 2.2** -Distribuição dos materiais que compõem os resíduos urbanos (Meio Ambiente, 2012).

### 2.4.1 - Resíduo de Casca de Ovo Galináceo

Este trabalho de mestrado é voltado para o uso do resíduo de casca de ovo galináceo na preparação de rocha artificial do tipo carbonática. Esse resíduo não foi escolhido ao acaso, uma vez que, o resíduo de casca de ovo é um material rico em carbonato de cálcio, substância contida nos mármore naturais (Oliveira et al, 2009)

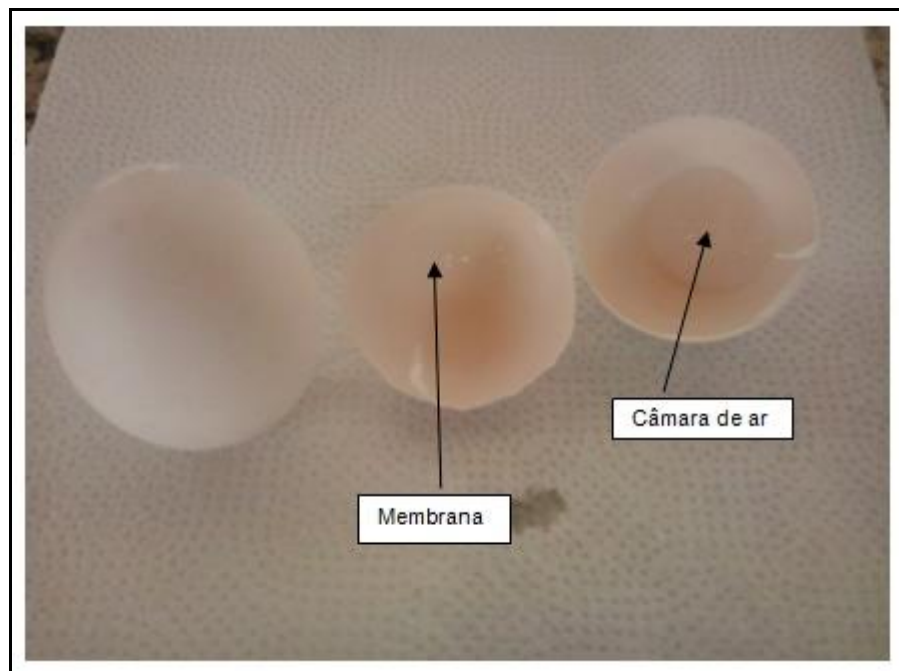
O ovo de galinha é um alimento muito utilizado no dia-a-dia das famílias no Brasil e no mundo. Isto se deve ao fato de ser um alimento completo e de alta qualidade nutricional, bem como de preço acessível principalmente às populações de baixa renda. O ovo de galinha é rico em proteínas de alto valor biológico como vitaminas do complexo B, A, E, K, minerais como ferro, fósforo, selênio e zinco, carotenóides como a luteína e zeaxantinae, também, fonte importante de colina, um importante componente do cérebro (Oliveira et al ,2009). Devido o seu incontestável valor nutricional pode ser comparado ao leite materno, pois reúne todos os nutrientes necessários para a vida (Oliveira et al,2009).

De acordo com Neves (1998) e Boron (2004), a industrialização de ovos galináceos (ovos em pó, líquidos, congelados, etc.) proporciona vantagens econômicas, extensão da vida útil do produto, facilidades no transporte e conservação. No entanto, esta atividade industrial gera uma quantidade expressiva de resíduo de casca de ovo. No mundo são geradas cerca de 5,92 milhões de toneladas por ano (Carvalho,2012). Ao longo do tempo este material de resíduo sólido tem sido pouco valorizado, apesar de apresentar grande potencial técnico e econômico. Em geral, o resíduo de casca de ovo proveniente de processos industriais tem sido principalmente destinado à agricultura com a finalidade de corrigir o pH em solos ácidos, bem como descartado em aterros (Oliveira et al., 2009). Em particular, aspectos ambientais devem ser considerados na valorização de resíduo de casca de ovo, pois minimiza o problema de poluição quando estas não são descartadas diretamente no meio ambiente. É importante destacar que, o reuso de resíduo de casca de ovo galináceo como fonte alternativa de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio) pode diminuir o impacto sobre as reservas naturais de rochas calcárias, uma fonte natural não-renovável.

A casca de ovo de galinha é um composto biocerâmico que tem como função a proteção da parte interna do material, o qual garante o cálcio essencial

na formação do esqueleto do pinto. Por ser composta por diversas camadas porosas, a casca de ovo de galinha é permeável à água e aos gases, o que permite a respiração do embrião (Neves,1998).

A casca contém duas membranas internas constituídas por uma mistura de proteínas e glicoproteínas, contidas na casca, exceto em uma das extremidades, onde as membranas se separam para formar a câmara de ar(Neves,1998).A Figura 2.3 mostra a casca de ovo de galinha, a membrana e a câmara de ar.



**Figura - 2.3** - Casca do ovo de galinha (Corrêa, 2014).

A casca do ovo por ser uma fonte rica em sais minerais e carbonato de cálcio tem servido também como base para desenvolvimento de produtos na indústria cosmética, suplementos alimentares, bases biocerâmicas, fertilizantes, implantes ósseos e dentários e como agente antitártaro em cremes dentais (Murakami, 2006). Sua camada calcária é composta por uma rede de fibras protéicas, entre as quais se inserem cristais de carbonato de cálcio (~ 96 % do peso), carbonato de magnésio(1% em peso) e fosfato de cálcio (1% em peso) e substâncias orgânicas (~ 2 % em peso).Dentre as várias possibilidades de uso da casca de ovo galináceo, as que mais se destacam são:(Neves, 1998).

- ✓ Cálcio para alimentação humana.
- ✓ Pó da casca para adubo, alimentação animal e/ou remoção de metais pesados.

- ✓ Carbonato de cálcio para adubo, alimentação animal e/ou remoção de metais pesados com separação da membrana da casca.
- ✓ Carbonato de cálcio purificado no qual as cascas de ovos podem ser uma alternativa para desenvolvimento de produtos na indústria cosmética, bases de biocerâmicas, implantes ósseos e dentários e como agente antitártaro em cremes dentais.
- ✓ Produção de hidroxiapatita - uma das mais importantes biocerâmicas utilizadas em aplicações médicas e dentais devido a sua biocompatibilidade, bioatividade, afinidade química e biológica com os tecidos ósseos (Oliveira et al ,2009)

#### **2.4.2 Impactos ambientais causados pelo resíduo de casca de ovo de galinha.**

Segundo Carvalho (2013) no Brasil, no ano de 2011, foram produzidos 87 milhões de caixas com 30 dúzias de ovos e a produção de frangos passaram de aproximadamente 4 milhões aves em 2007 para cerca de 6 milhões de aves em 2011, evidenciando o crescimento do país. Estima-se que de 8 a 12% dos ovos que não nascem até o final do período de incubação, tornam-se inférteis e viram resíduos, que são descartados diretos em aterros sanitários ou próximos aos incubatórios (Nunes,1998 apud Silva,2007).

As cascas de ovos, por conterem em sua composição uma pequena camada de matéria orgânica conferem ao material perecibilidade, além de ser um excelente substrato para microorganismos disseminando doenças, proliferando insetos e formando odores indesejáveis(Palhares,2005).

Com a preocupação ambiental cada vez mais intensificada, diversos estudos buscam agregar alguns resíduos sólidos na obtenção de novos produtos, sendo a casca de ovo uma delas.

Carvalho (2011) utilizou o resíduo de casca de ovo para a fabricação de tijolos solo- cimento, agregando ao produto um valor ambiental.

Oliveira et al (2009) pesquisaram inúmeras possibilidades de uso desse resíduo , como: alimentação, remoção de metais pesados dos solos, adubo para o mesmo, biocerâmicas , entre outras.

## 2.5- O Carbonato de cálcio

É um composto inorgânico de fórmula química  $\text{CaCO}_3$ , pouco solúvel em água. Em seu estado puro é um composto sólido, de cor branca, inodoro, possui propriedades alcalinas, tem forma de pó fino cristalino, não inflamável, estável, não corrosivo e atóxico. Ele se encontra presente em grandes quantidades na natureza e é o principal componente do calcário e do mármore. Pode ser encontrado também nas conchas, corais e cascas de ovos. É bastante utilizado em vários ramos da economia, atendendo da indústria farmacêutica à construção civil. (Infoescola,2014).

Destaca-se ainda que, o carbonato de cálcio por ser um mineral muito estável é usado em larga escala como carga na indústria do plástico. O PVC, poliéster, epóxi, fenólicas são resinas que podem formar compósitos com o carbonato de cálcio (Wiebeck e Harada, 2005 apud Ribeiro,2011). Outras propriedades do  $\text{CaCO}_3$  são:

- Material não abrasivo
- Atóxico
- Possui baixa absorção de plastificantes
- Boa resistência á decomposição térmica durante o processo
- Possui cor clara

### 2.5.1- O Mármore

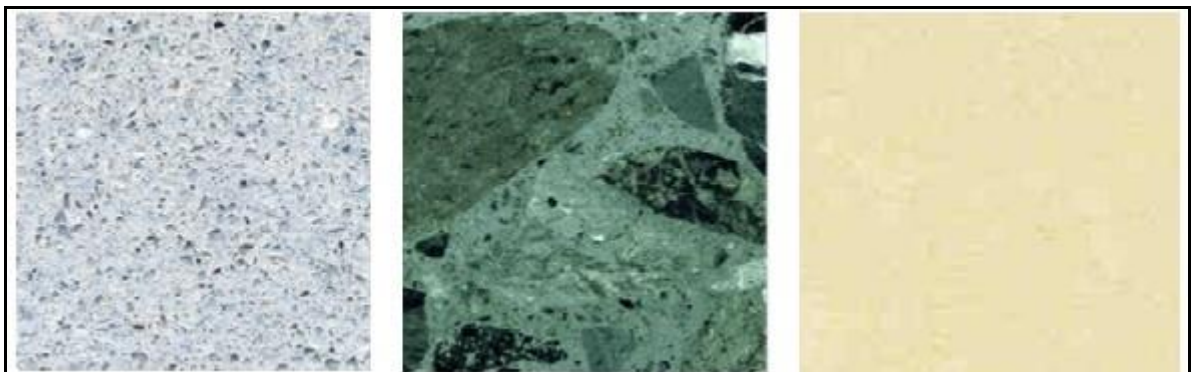
O mármore é uma rocha metamórfica derivado do calcário. Essa rocha é popularmente conhecida por mármore devido à composição química sofrida pelo calcário naturalmente, proporcionando assim uma variação de cor e textura. (Alicante, 2014)

Devido à grande quantidade de extração de mármore no Brasil e em diversos outros países, principalmente na Europa, as partículas do material proveniente do processo de corte são eliminados na natureza. Com o resíduo gerado, pesquisas foram e continuam sendo feitas para uma oportunidade de uso consciente da matéria – prima (Alicante, 2014).

### 2.5.2- O Mármore Sintético

Há vários anos, empresas e universidades estudam formas viáveis de se produzir o mesmo material, com matérias primas diferentes. Essa substituição contribui muito para o meio ambiente, uma vez que, deixa de retirar da natureza toneladas de matéria prima bruta ao fazer a reciclagem de determinados resíduos sólidos compatíveis quimicamente. O principal objetivo da incorporação de outras matérias primas na produção do mármore é, além da redução da extração das reservas naturais, encontrar uma nova opção de matéria prima para produzir o mesmo produto. As rochas artificiais são conhecidas por serem produzidas com 95% de agregados naturais, como pó de mármore e granito, areia de quartzo, entre outras, que se agregam a um aglomerante normalmente uma resina ou cimento. A resina mais utilizada na fabricação de mármore artificial é a resina poliéster, uma vez que é mais barata e mais facilmente encontrada (RIBEIRO, 2011 apud GORNINSKI e KAZMIERCZAC, 2008).

O mármore composto, conhecido como mármore industrializado, é produzido com 95% de partículas de mármore natural e 5% de aglutinantes. Essa junção resulta num material similar ao mármore natural como pode ser observado na Figura 2.4 (Ribeiro, 2011).



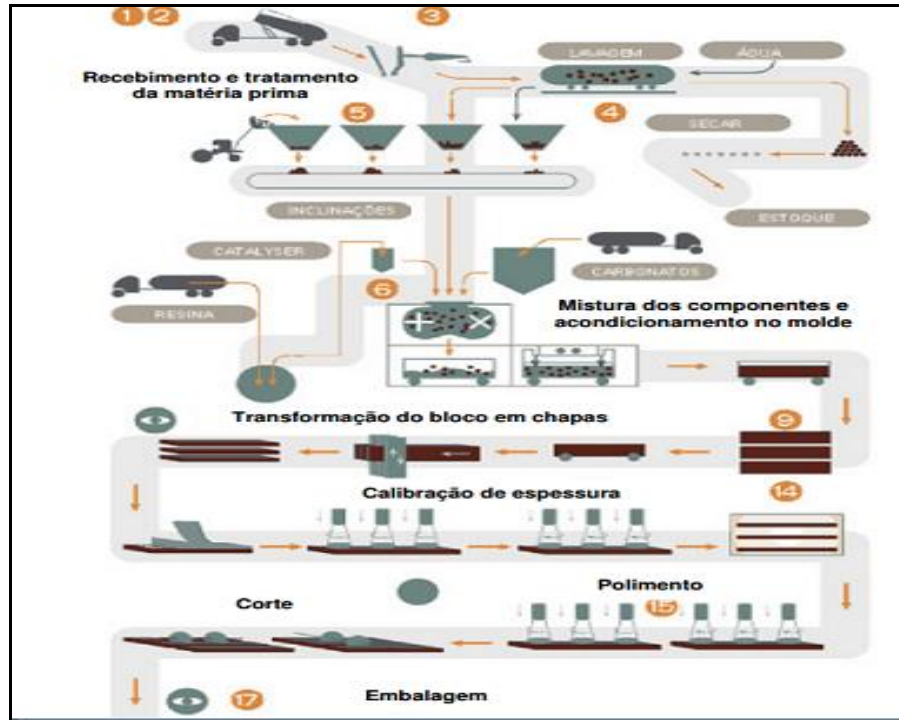
**Figura 2.4** - Aparência das rochas artificiais disponíveis comercialmente (Ribeiro,2011)

A Indústria de mármore artificial utiliza carbonato de cálcio presente nas rochas calcárias, pó de mármore, pedras de diferentes granulometrias e adição de resina, para a fabricação de blocos que são enviados para serragem e polimento (Pereira, 2006, apud Ribeiro, 2011).



## 2.6 – Processo de Fabricação de Rocha Artificial

O método de fabricação das rochas aglomeradas segue os passos mostrados pela Figura 2.5

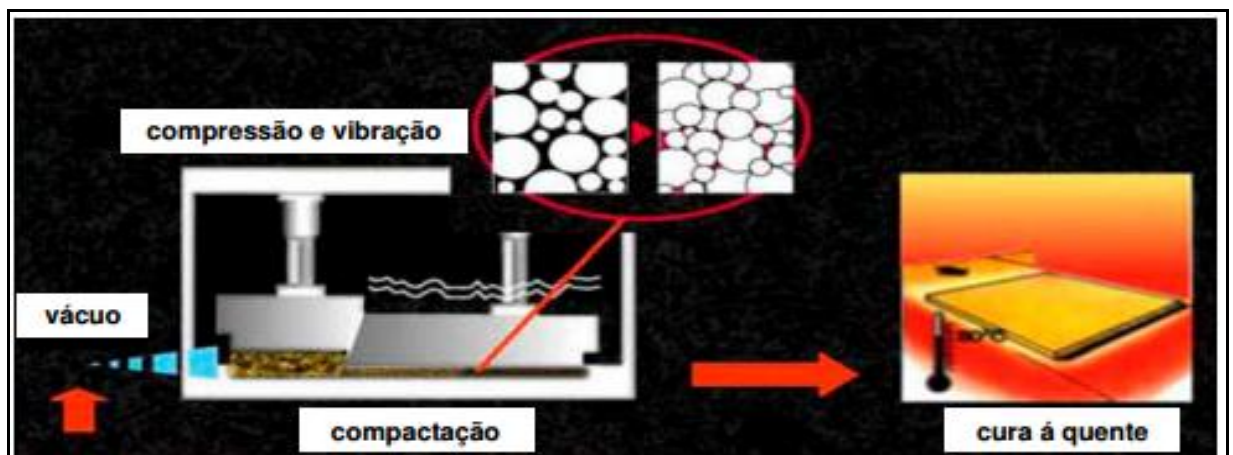


**Figura 2.5** - Fluxograma de fabricação de rochas aglomeradas (CompacMarmol e Quartz, 2010).

O processo de fabricação de uma rocha artificial envolve as seguintes etapas:

A matéria prima a ser utilizada passará primeiramente por lavagem em água para a retirada das impurezas. Logo após, a mesma será secada em estufa para retirada de toda umidade presente. Em seguida a matéria prima será triturada até se obter a granulometria desejada. Ao se encontrar em forma de pó, a matéria prima será misturada ao aglomerante (resina) com adição do catalizador, para que este acelere o processo de endurecimento do material. A massa homogeneizada será colocada sobre um molde, de vibro-compressão, com objetivo de ser prensada e compactada. A mistura adicionada no molde será transformada em chapas, calibrando também sua espessura. Após essa etapa, a massa passará pelo processo de cura até obter a dureza necessária. Em seguida a massa endurecida passará pelo processo de corte, polimento até chegar ao produto final, atendendo assim o mercado consumidor (Ribeiro, 2011).

O processo mais utilizado atualmente na produção de rochas artificiais é o de vibro-compressão a vácuo. Neste processo as cargas minerais são misturadas ao aglomerante (resina) e essa massa é então compactada sob vibração e aplicação do vácuo (Ribeiro,2011). O vácuo favorece a retirada do ar preso nas massas, reduzindo dessa forma o nível de porosidade das placas após a moldagem, o que mostra ser um método interessante, uma vez que se busca a produção de placas de alto desempenho, conforme é ilustrado na Figura 2.6 (Ribeiro, 2011).



**Figura 2.6-** Demonstração do processo de vibro-compressão à vácuo (Ribeiro, 2011).

A utilização desse processo, mantendo a frequência de vibração e pressão de compactação, mostra que as pressões menores são capazes de aumentar a densidade do material, a redução da absorção de água e a melhoria das propriedades mecânicas, como a resistência á compressão e tensão de ruptura a flexão (Ribeiro, 2011).

## 2.7- Resinas

Existem diferentes tipos de resinas no mercado, com muitas funções e aplicações. As resinas são compostos orgânicos, derivados do petróleo, que pelo processo de polimerização passa do seu estado líquido para o estado sólido (Heartjoia, 2014). Podem ser utilizadas em inúmeros seguimentos da economia atendendo a diversos ramos, desde a fabricação de jóias à construção civil.

### 2.7.1 -Tipos e propriedades das resinas

As propriedades das resinas estão diretamente relacionadas com suas aplicações, por exemplo: Se um material possui resistência química ele pode ser usado em ambientes onde há contato ou exposição constante de algum produto químico, como o caso do PVC, muito utilizado em tubulações. Outro exemplo é o policarbonato, que devido sua resistência a impactos e transparência é usualmente empregado em escudos da polícia anti-choques (Abiplast e Sindiplast, 2014).

Inúmeras são as propriedades das resinas plásticas, como:

- Resistência a certas substâncias químicas
- Opacidade
- Brilho
- Absorção de umidade

Elas podem ser classificadas em duas formas: Termoplásticas e Termofixas.

- ✓ Termoplásticas: São materiais que podem ser processados mais de uma vez, ou seja, podem ter alterações do seu estado físico sem que haja modificações da sua estrutura química. Como exemplo pode-se citar: PVC, PP, PE, PS e EVA.
- ✓ Termofixas: São materiais que uma vez conformados, não podem mais ser mais reprocessadas, pois não podem mais fundir, pois isso desencadearia alguma reação química irreversível. Como exemplo pode-se citar: PR, as Resinas Epóxicas, Fenólicas, Poliéster.

As resinas termofixas são muito empregadas devido às diversas vantagens como: baixo custo, estabilidade térmica e dimensional, resistência química a altas temperaturas e facilidade de se moldar peças com grandes dimensões; porém a sua baixa resistência à fratura torna essencial a utilização de reforços (Sanches et al, 2010).

As resinas de poliéster pertencem a uma família de polímeros de alto peso molecular, obtidos da condensação de ácidos carboxílicos em glicóis, classificando-se como resinas saturadas e insaturadas, dependendo do tipo de ácido a ser utilizado que caracterizará o tipo de ligação entre os carbonos (Embrapol, 2014).

São usadas geralmente na fabricação de peças moldadas, com ou sem fibra de vidro, tais como; Barcos, piscinas, banheiras, tanques, telhas, botões, assentos sanitários, massa plástica, mármore sintético, etc (Ribeiro,2011)

### **2.7.2- Resinas de Poliéster Insaturada**

O Poliéster Insaturado são ésteres complexos formados pela reação de um diálcool (glicol) e um anidrido ou ácido dibásico (diácido) com liberação de uma molécula de água. Devido a reação ocorrer nas duas extremidades da cadeia é possível ter moléculas muito compridas e obter-se a multiplicidade de grupos Ester (Silaex, 2014).

A resina de poliéster insaturada é produzida quando qualquer dos reagentes contém insaturações. Essa denominação se deve a presença de duplas ligações em sua cadeia molecular. Os poliésteres insaturados são formados em duas etapas, condensação do ácido e do álcool para formar uma resina solúvel e depois o acréscimo de um agente de interligação para formar uma resina termoestável (Silaex, 2014).

Com a adição de um catalizador na resina em seu estado líquido, dará origem a um polímero com características termoestáveis, infusíveis e irreversíveis (Silaex,2014).

A escolha da resina a ser utilizada depende do fim específico que se propõe a peça, assim como do seu custo benefício. Normalmente as resinas de poliéster insaturadas são classificadas como (Silaex, 2014):

- Resina poliéster ortoftálica: É assim denominada, oriunda do ácido ou anidrido ortoftálico que é empregado na sua formulação. É a mais comum e de menor custo. Suas aplicações são em tubos, tanques, mármore sintético, telhas, piscinas, caixas d'água, pias, banheiras, calhas, bijuterias, massa plástica, etc.
- ✓ Resina Poliéster isoftálica: Muito resistentes a agentes químicos, indicados para a fabricação de tubos, tanques e recipientes.
- ✓ Resina Poliéster Bisfenólica: Possuem grande resistência a produtos químicos. Podem ser usadas em fins industriais e alimentícios.
- ✓ Resina Poliéster Éter Vinílica: É o grupo mais resistente das resinas, devido à dupla ligação de carbono. Sua durabilidade é alta e supera

muitas vezes o aço inoxidável. É indicada para indústrias químicas, petroquímicas, de papel e celulose, cloro-soda entre outras.

## **2.8 – Uso de Resíduos na Produção de Rochas Artificiais**

O grande volume de resíduos sólidos gerados pela indústria de rochas ornamentais brasileira tem motivado a busca de alternativas para aproveitamento de tais resíduos como, por exemplo, o desenvolvimento de rochas artificiais. Antes disso, essas rochas artificiais eram produzidas somente fora do país e era necessária a importação de tais produtos para atender ao mercado consumidor nacional (Gondim *et al.*, 2013).

O Instituto Nacional de Tecnologia (INT) é um dos pioneiros no estudo e desenvolvimento de rochas artificiais no Brasil. Desde 2008 que o INT desenvolve pesquisas para reutilizar resíduos sólidos provenientes da extração e cortes de rochas ornamentais na composição de rochas artificiais. De acordo com Gondin e colaboradores (2013) as rochas artificiais possuem características vantajosas em relação à rocha natural tais como: boa resistência ao intemperismo e ao lascamento, além de ser fácil de colar, polir e reparar. Estas características tornam a rocha artificial uma opção adequada para utilização como material de revestimento (Gondinet al, 2013).

A seguir serão descritos sucintamente importantes trabalhos sobre o reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais na produção de rocha artificial.

Ribeiro (2011) utilizou em sua dissertação de mestrado o resíduo de pó de mármore como matéria prima para a fabricação do mármore sintético. O uso desse resíduo é interessante devido a fatores como:

- Reaproveitamento de resíduos da indústria de rochas ornamentais.
- Redução da área utilizada para descarte e os custos deste processo.
- Redução da exploração das jazidas calcárias.
- Redução dos custos do material, uma vez que, esse ao ser incorporado não necessitará de britagem primária.
- Nacionalização da produção de rochas artificiais com preços mais acessíveis.
- Inertização do resíduo ao incorporá-lo, evitando seu descarte no meio ambiente.

- Redução dos volumes diários depositados.

Neste trabalho Ribeiro(2011) utilizou o carbonato de cálcio presente no pó de mármore e resina poliéster insaturada como ligante para a fabricação do mármore artificial, na proporção 85% e 15% respectivamente. O mármore composto ou sintético é produzido entre a mistura de partículas de mármore natural e agentes aglutinantes, resina poliéster, que resulta num material muito semelhante ao mármore natural. Através do processo de vibro-compressão a vácuo, a mistura das partículas do mármore e a resina de poliéster insaturada são colocados sobre um molde, em uma forma, onde o processo aplicado transformará a mistura em blocos homogêneos que posteriormente serão submetidos ao processo de cura.

Ribeiro (2011) usou em seu trabalho de acordo com a ABNT NBR 7181 (ABNT,1984a) granulometrias de peneiras entre 10mesh (2mm) e 200 mesh (0,074 mm), ou seja, partículas finas, uma vez que ele utilizou o pó do mármore. Além das peneiras de 10 e 200 mesh, foram utilizadas as peneiras de 20,40 e 100 mesh.A geometria adotada para os corpos de prova foi de base quadrada com lado medindo 10mm e altura 30 mm.

A Tabela 2.8.1 apresenta a composição química do resíduo de mármore utilizado. Os resultados mostram que o resíduo é rico em MgO(24,315 % em peso), o qual caracteriza o material como sendo dolomítico (Ribeiro,2011)

**Tabela 2.8.1-** Composição química do resíduo de mármore: Dolomito (Ribeiro,2011).


<b>Composto</b>	<b>Concentração em peso (%)</b>
Perda ao fogo	39,200
MgO	24,319
CaO	26,374
SiO <sub>2</sub>	9,684
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,242
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,098
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,083

Alguns testes realizados em mármore sintético demonstram que estes mármore, possuem propriedades físicas semelhantes ou melhores aos do mármore natural conforme se pode observar na tabela 2.8.2 (Ribeiro, 2011).

**Tabela 2.8.2** - Comparação de algumas propriedades físicas entre o mármore natural e artificial (Martins e Pereira, 2004, apud Ribeiro, 2011).

Propriedade	Unidade	Mármore natural	Mármore artificial
Resistência a flexão	Kg/cm <sup>2</sup>	60	100 --- 150
Absorção de água	%	0,55	0,09 – 0,40
Resistência à compressão	Kg/cm <sup>2</sup>	2161	2243

Existem também alguns parâmetros tecnológicos para rochas artificiais que podem ser utilizados para fins de comparação com o presente trabalho.

Parâmetros Tecnológicos de Referência							
Sentido Crescente Qualidade	Absorção d'Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Coefficiente Dilatação Térmica (mm x 10 <sup>-3</sup> )	Resistência Desgaste Amsler (mm)	Resistência Impacto (m)	Resistência Compressão (kg/cm <sup>2</sup> )*	Resistência Flexão 3 Pontos (kg/cm <sup>2</sup> )*
	Muito Alta > 3,0	Muito Alta > 6,0	Muito Alto > 12	Muito Baixa > 6,0	Muito Baixa < 0,30	Muito Baixa < 400	Muito Baixa < 60
	Alta 1,0 – 3,0	Alta 3,0 – 6,0	Alto 10 – 12	Baixa 3,0 – 6,0	Baixa 0,30 – 0,50	Baixa 400 – 700	Baixa 60 – 120
	Média 0,4 – 1,0	Média 1,0 – 3,0	Médio 8 – 10	Média 1,5 – 3,0	Média 0,50 – 0,70	Média 700 – 1300	Média 120 – 180
	Baixa 0,1 – 0,4	Baixa 0,5 – 1,0	Baixo 6 – 8	Alta 0,7 – 1,5	Alta 0,70 – 0,95	Alta 1300 – 1800	Alta 180 – 220
	Muito Baixa < 0,1	Muito Baixa < 0,5	Muito Baixo < 6	Muito Alta < 0,7	Muito Alta > 0,95	Muito Alta > 1800	Muito Alta > 220

(\*) 10 kg/cm<sup>2</sup> ≅ 1 MPa. Fonte: adaptado e modificado do *Manual da Pedra Natural para Arquitetura* (HENRIQUES & TELLO, coord., 2006)

**Figura 2.7** – Parâmetros tecnológicos de referências para rochas. (Menezes e Larizzatti, 2005).

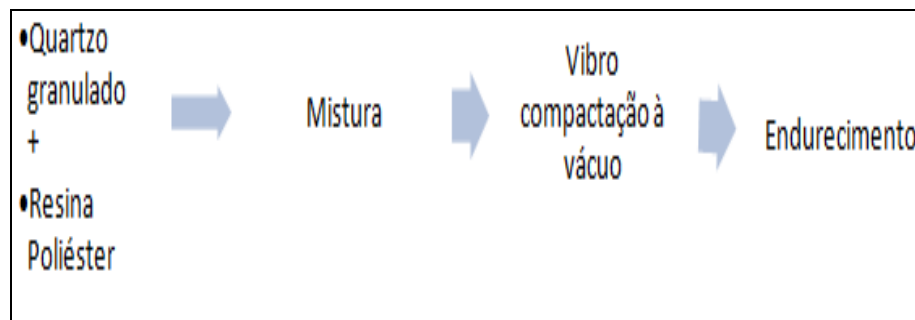
Silva(2013) utilizou o resíduo de quartzo proveniente na exploração do itabirito, uma rocha metamórfica, rica em ferro, com domínio de quartzos intercalados. O resíduo arenoso, da exploração do itabirito é grande potencial para a fabricação da pedra composta, devido a grande concentração deste mineral, visando diminuir o uso de rochas naturais. A figura 2.8.ilustra o Itabirito explorado e seus níveis de quartzo(parte clara).



**Figura 2.8-** Itabirito com domínios de quartzo e hematita(Silva 2013,apud Machado,2012)

A figura 2.9 ilustra o fluxograma das etapas envolvidas no processo de fabricação da rocha composta de quartzo (Silva,2013).

Para a obtenção da rocha artificial à base de quartzo, foi realizada a junção do quartzo granular e a resina de poliéster e essa mistura levada a vibrocompactação a vácuo até seu endurecimento (Silva,2013).



**Figura 2.9** – Fluxograma para fabricação da pedra composta de quartzo(Silva, 2013).



O fluxograma é seguido passo a passo da seguinte maneira:

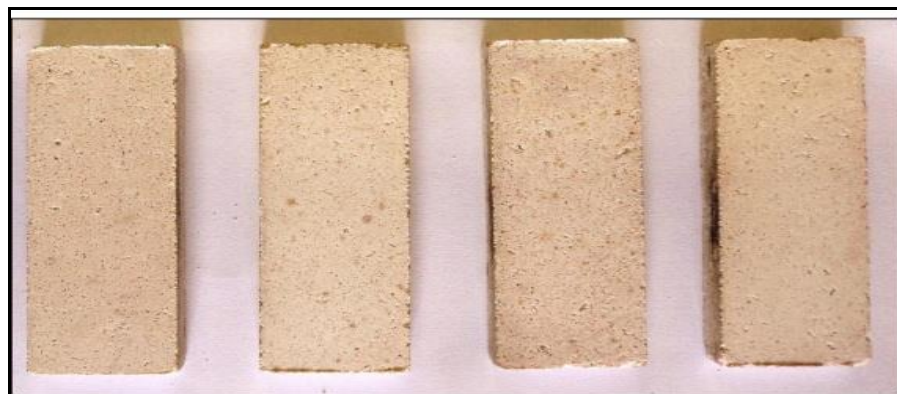
Inicialmente é realizada a mistura de 7,13 gramas de quartzo de maior granulometria com 2,25 gramas de resina de poliéster. A mistura foi uniformizada manualmente com uma espátula em um recipiente de vidro. Logo após foram misturados 6,45 gramas de quartzo de granulometria média, homogeneizando-a novamente com a resina. Por fim, acrescenta-se 11,4 gramas de quartzo de menor granulometria (Silva,2013).O percentual de resina e resíduo de quartzo foi na proporção de 8% e 92% respectivamente.

A mistura deve resultar em uma pasta. O catalizador é adicionado logo em seguida. Posteriormente a prensagem do material é feita com uma prensa hidráulica manual de capacidade de 830 Mpa.A massa é colocada sobre uma matriz vibratória a vácuo, de modo a promover uma melhor acomodação das partículas de quartzo e aumentar dessa maneira a densidade do material (Silva, 2013).

O vácuo é responsável pela retirada de bolhas de ar presente na massa. Por fim é realizada a etapa de cura, onde o material terá duas etapas de cura: 1) 80 °C ou 90 °C durante 30 minutos ao ar; 2) 110 °C ou 120° C durante 2 h ao ar.

O objetivo dessa etapa é promover a polimerização da resina e sua adesão às partículas minerais, produzindo peças de alta resistência mecânica (Silva, 2013).

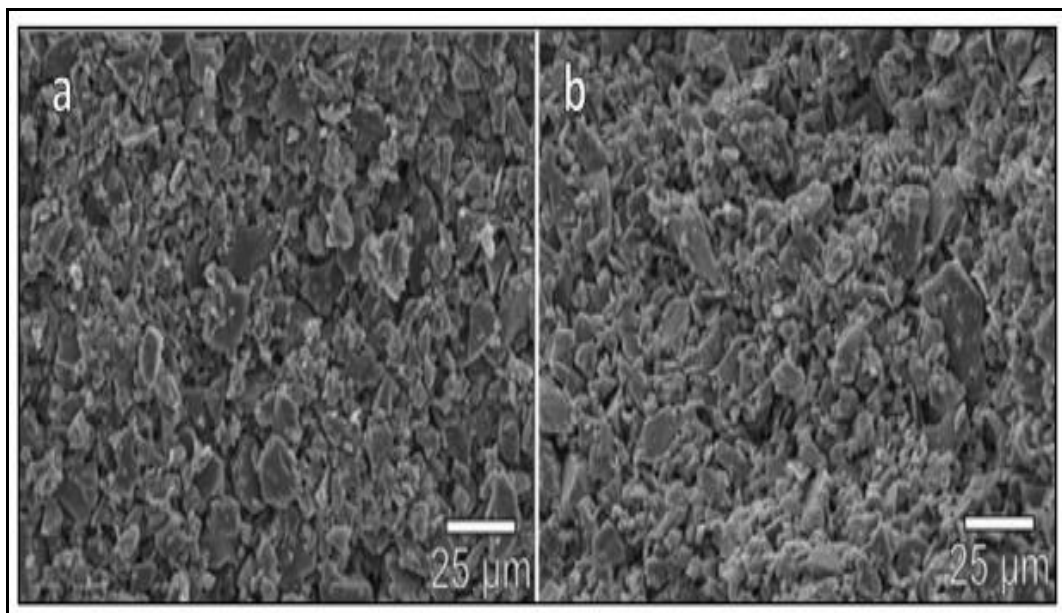
A figura 2.10 ilustra as peças de pedra composta em quartzo após o aquecimento de cura. O quartzo utilizado era de tom claro, próximo ao branco, porém após o aquecimento as peças ficaram amareladas, próximas ao bege. As peças tinham formato retangular, nas medidas de 70x25x8 mm.



**Figura 2.10** – Amostras de pedra composta de resíduo de quartzo(Silva,2013 )

As amostras das pedras compostas de quartzo apresentaram os mesmos aspectos: poros superficiais ou de fratura não foram observados, o aquecimento pós-cura, demonstrou também que a polimerização da resina favoreceu o enrijecimento e aumento da resistência do material em análise (Silva, 2013).

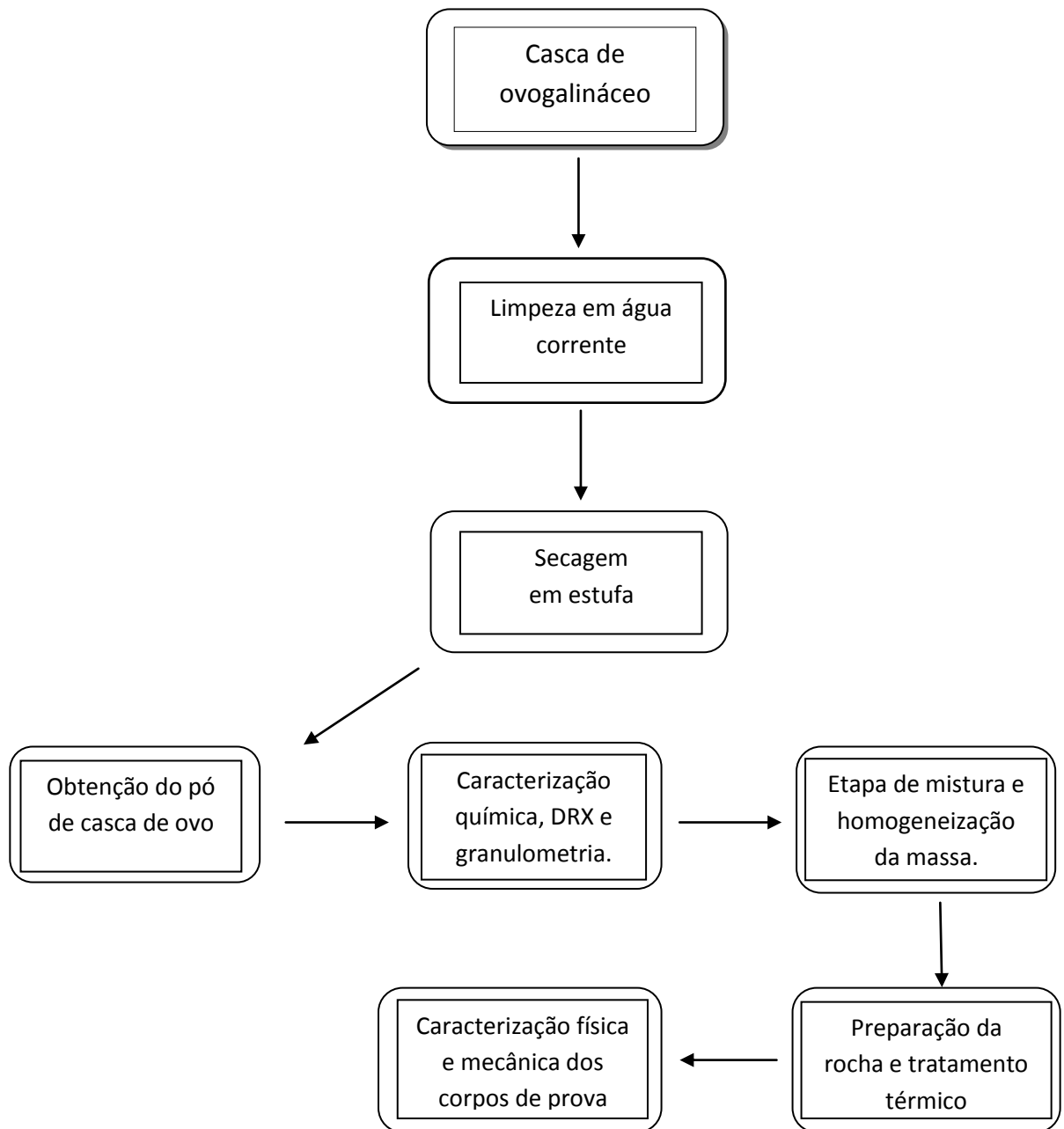
Na análise da morfologia do material, conforme figura 2.8.6 se fez uso da microscopia eletrônica de varredura. Foram realizadas análises das amostras na superfície compactada e na superfície de fratura (Silva, 2013).



**Figura 2.11** - Micrografia da superfície compactada (A) e da superfície de fratura(B) com aumento de 750 vezes.

As granulometrias diferentes do resíduo de quartzo se mostraram homogêneas no decorrer de todas as amostras, o que mostra uma redução da probabilidade de falha do material. Não foram identificados indícios de fendas na superfície de fraturas nem grandes falhas na superfície de compactação. A ausência de poros nas superfícies em análises demonstra e comprova a eficiência do processo de vibro-compactação a vácuo (Silva, 2013).

A Figura 3 apresenta o fluxograma das etapas envolvidas na preparação da rocha artificial com resíduo de casca de ovo.



**Figura 3.1** - Fluxograma das etapas envolvidas no procedimento experimental

### 3.1 Matérias-Primas

As matérias-primas utilizadas no desenvolvimento da dissertação foram:

- Resíduo de casca de ovo galináceo (RCOG);
- Resina de poliéster insaturada AQP 8400pré-acelerada  
Lote: 46008  
Fornecida por Água Química;
- Catalisador, PMEK – Peróxido de Metiletilcetona  
9% Oxigênio Ativo

A casca de ovo de galinha utilizada neste trabalho foi coletada em estabelecimentos alimentícios, localizados na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ. Inicialmente ela foi submetida a beneficiamento com o objetivo de retirar as impurezas superficiais presentes, posteriormente, à secagem em estufa a 100 °C durante 24h e trituração. Três diferentes granulometrias foram preparadas, de acordo com as mais usadas em trabalhos pesquisados. A distribuição granulométrica foi obtida por peneiramento na separação das frações, utilizando peneiras com as seguintes aberturas:

- < 250 µm (60 mesh)
- < 150 µm (100 mesh)
- < 106 µm (150 mesh)

O pó resultante foi utilizado na mistura e obtenção da rocha carbonática.

A resina utilizada é o poliéster insaturado, um termofixo geralmente usado em fabricação de peças moldadas, como por exemplo, o mármore sintético.

### **3.2 Caracterização do Resíduo de Casca de Ovo (RCOG)**

### 3.2.1 - Composição química

A composição química da amostra foi determinada por fluorescência de raios-X, no equipamento Shimadzu, modelo EDX 700, presente no laboratório de núcleo de caracterização de materiais e integridade estrutural do LAMAV/CIVIL, acoplado a um computador para o processamento de dados.

Além disso, uma pequena amostra de RCOG foi pesada em uma balança analítica e levada a um forno laboratorial, sendo submetida a uma temperatura de 1000 °C e taxa de aquecimento de 10 °C/min. Após este procedimento, a mesma foi novamente pesada. Com a diferença de massa e, com o auxílio da Equação 1, a perda ao fogo foi determinada.

$$PF = \frac{M_s - M_c}{M_s} \times 100 (\%)$$

**Equação 1**

Onde:

PF – perda ao fogo;

Ms – massa da amostra seca a 100 °C;

Mc – massa da amostra calcinada a 1000 °C por 2 horas.

### 3.2.2 Análise Granulométrica

A análise da distribuição de tamanho de partículas do RCOG foi determinada via combinação das técnicas de peneiramento e sedimentação, de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984).

### 3.2.3 Difração de raios-X (DRX)

A análise por difração de raios-X (DRX) da amostra de resíduo foi realizada com o intuito de determinar as fases cristalinas do RCOG e a presença de impurezas. Para isso, um difratômetro convencional Shimadzu, modelo XRD 7000 foi utilizado, usando radiação monocromática de Cu-K $\alpha$  a velocidade de 1,5° (2 $\theta$ ) por minuto. Foi usada a ficha padrão do CaCO<sub>3</sub> (calcita) nº 01-0837.

### 3.3 – Formulação e preparação dos corpos de prova

Neste trabalho foram formuladas diversas misturas resina poliéster/RCOG em diferentes percentuais, além de diferentes granulometrias de resíduo (60, 100 e 150mesh).

Foram produzidas 8 corpos de provas em cada percentual resina/resíduo/granulometria, totalizando 96 peças, conforme mostrado na Tabela 3.3.

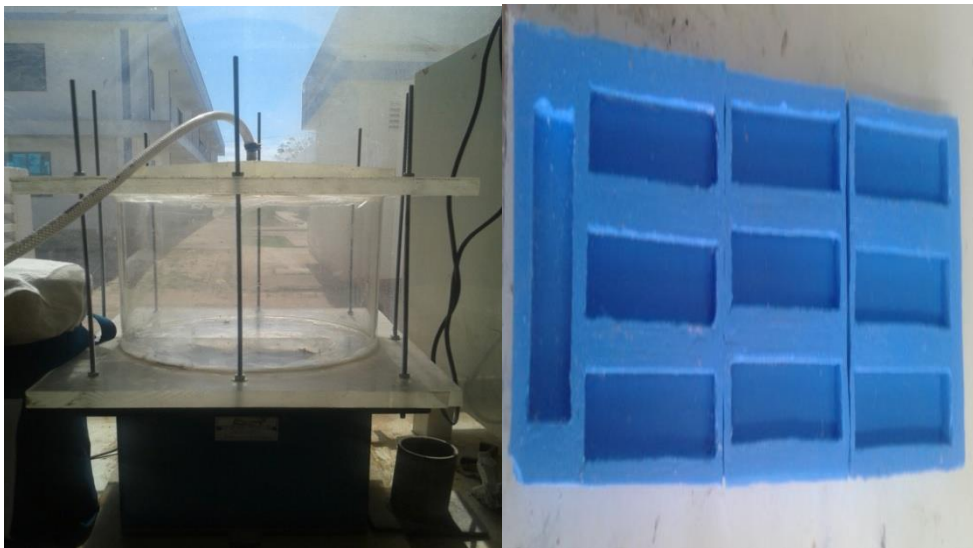
**Tabela 3.3 - Formulações testadas de resina poliéster/RCOG**

<b>Amostras</b>	<b>Resíduo de casca de ovo em massa (RCOG)</b>	<b>Resina poliéster</b>	<b>Granulometria do RCOG</b>
AT1	65%	35%	250 $\mu$ m (60 mesh)
AT2	65%	35%	150 $\mu$ m (100 mesh)
AT3	65%	35%	106 $\mu$ m (150 mesh)
AT4	60%	40%	250 $\mu$ m (60 mesh)
AT5	60%	40%	150 $\mu$ m (100 mesh)
AT6	60%	40%	106 $\mu$ m (150 mesh)
AT7	55%	45%	250 $\mu$ m (60 mesh)
AT8	55%	45%	150 $\mu$ m (100 mesh)
AT9	55%	45%	106 $\mu$ m (150 mesh)
AT10	50%	50%	250 $\mu$ m (60 mesh)
AT11	50%	50%	150 $\mu$ m (100 mesh)
AT12	50%	50%	106 $\mu$ m (150 mesh)

As diferentes formulações tiveram como objetivo encontrar o melhor percentual de pó de resíduo de casca de ovo e resina para a produção da rocha carbonática artificial. Além disso, as diferentes granulometrias, escolhidas entre as mais usadas na literatura, foram utilizadas com o objetivo de verificar a influência do tamanho dos grãos na adesão com o aglomerante (resina poliéster), como também em suas propriedades tecnológicas tais como: porosidade aparente, absorção de água, densidade aparente e resistência mecânica.

A resina poliéster, utilizada para a obtenção da massa, foi pesada de acordo com as formulações e homogeneizada com o endurecedor em um pequeno recipiente de vidro. Após este procedimento o resíduo de casca de ovo foi adicionado e misturado manualmente durante 5 minutos, antes de ser vazado em moldes de silicone com tamanhos adequados para a realização das análises (70 x 20 x 10 mm).

Este molde foi colocado dentro de um invólucro, que posteriormente foi vedado, conectado a uma bomba de vácuo mecânica e colocado sobre uma superfície vibradora por 30 minutos, ilustrado na Figura 3.1. O vácuo favorece a retirada das bolhas formadas pela resina e o endurecedor. A vibração tem a função de ajudar no processo de estabilização da massa. Após essa etapa, o material já duro é levado à estufa numa temperatura de 120 °C durante 2h para a realização total da cura da resina contida no material.



**Figura 3.2-** Invólucro e moldes de silicone usados na confecção dos corpos de prova.

Por inviabilidade de utilização do vibro-compressão a vácuo, foi usado neste trabalho apenas o invólucro adaptado à superfície vibratória e ao vácuo para a produção dos corpos de prova.

### 3.4 – Propriedades técnicas

#### 3.4.1- Absorção de água e porosidade aparente

A absorção de água e porosidade aparente foram determinadas de acordo com a norma técnica ABNT-NBR 15.845/2010. O procedimento consistiu primeiramente na secagem dos corpos de prova em estufa por 24 h e pesados individualmente. Após esse procedimento, os corpos de prova foram colocados numa bandeja com 1/3 de água à temperatura ambiente (25 °C) referente à altura do recipiente. Após 4 horas, elevou-se a quantidade de água para 2/3, por mais 4 horas. Em seguida foi completado o restante da altura e deixados submersos até completar o tempo de 48 horas. Decorrido este tempo, os corpos de prova foram pesados suspensos dentro da água com auxílio de uma balança hidrostática e em seguida fora da água. A absorção de água (AA) determinada pela seguinte equação:

$$A = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

**Equação 2**

A determinação da porosidade aparente foi feita de acordo com a equação:

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100$$

**Equação 3**

Onde:

um - representa a massa (g) dos corpos de prova saturados com água;

M<sub>s</sub>- representa a massa (g) dos corpos de prova secos ;

M<sub>i</sub> - representa a massa (g) do corpo de prova imerso em água, que será medida pelo método da balança hidrostática



### 3.4.2 – Densidade bulk

A densidade bulk dos corpos de prova foi determinada pela razão entre a massa (g) seca e o volume (cm<sup>3</sup>) de acordo com a equação:

Equação 4.

$$D_b = M / V$$

**Equação 4**

Onde:

$D_b$  = densidade bulk (g/cm<sup>3</sup>)

$M$  = massa do corpo de prova (g)

$V$  = volume do corpo de prova (cm<sup>3</sup>)

### 3.4.3 - Tensão de ruptura à flexão

A determinação de tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova em carregamento de três pontos foi feita de acordo com a norma C674-77 (ASTM, 1989), utilizando-se uma máquina de ensaios mecânicos universal, marca Instron, numa taxa de carregamento de 0,5 mm.min<sup>-1</sup>. A tensão de ruptura à flexão foi determinada usando a Equação 5.

$$TRF = \frac{3PL}{2bd^2}$$

**Equação 5**

Onde:

TRF - representa a tensão de ruptura à flexão, em MPa ;

$P$  - representa a carga aplicada em N;

$L$  - representa a largura entre os cutelos de apoio, em mm;

$b$  - representa a largura do corpo de prova em mm;

$d$  - representa a espessura do corpo de prova em mm.

### **3.5 – Análise Microestrutural (MEV/EDS)**

A análise microestrutural das amostras foi realizada por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura em aparelho SuperScan, SSX-550 da marca SHIMADZU. As imagens foram geradas a partir de elétrons secundários.

Para esta análise, inicialmente as amostras passaram pelo processo de metalização, por Paládio (Pd), realizado no Metalizador Bal-tec, SCD 050, do laboratório de Biologia do CBB/UENF. O recobrimento metálico utilizado nesse procedimento visa tornar as amostras condutoras e dessa forma, gerar imagens com boa resolução no MEV.

### **3.6 - Difração de raios - X**

A análise por difração de raios-X (DRX) foi realizada utilizando radiação monocromática de Cu-K $\alpha$  a velocidade de 1,5° (2 $\theta$ ) por minuto, em um difratômetro convencional (Shimadzu, XRD 7000) com o intuito de confirmar as fases cristalinas do material no corpo de prova.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos no desenvolvimento da presente dissertação de mestrado.

### 4.1 - Caracterização do Resíduo de Casca de Ovo

#### 4.1.1 - Composição química

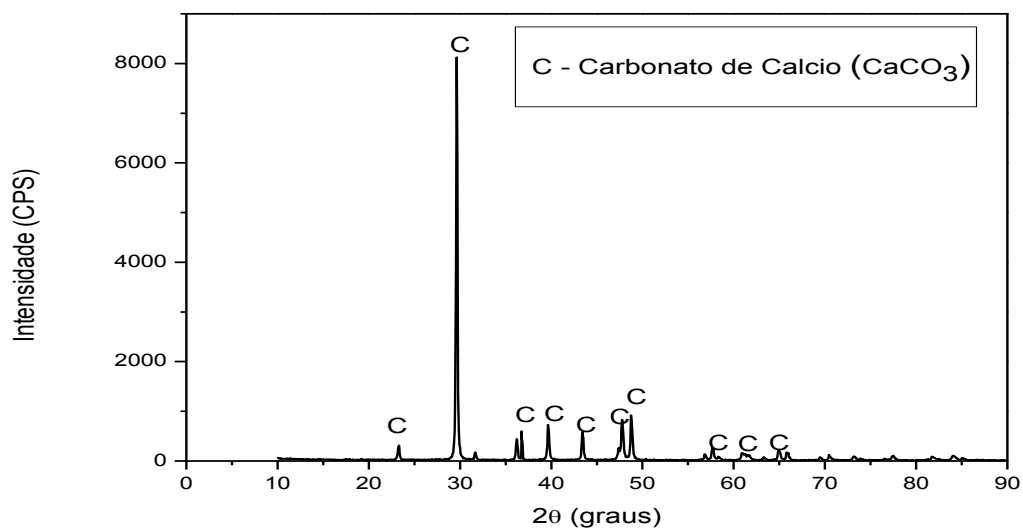
A Tabela 4.1 mostra a composição química do resíduo de casca de ovo. Pode-se verificar que o resíduo de casca de ovo é constituído essencialmente por óxido de cálcio (CaO), com cerca de 66,63% em peso. Isso se deve à grande quantidade de carbonato de cálcio na forma de calcita (CaCO<sub>3</sub>). O percentual de perda ao fogo foi relativamente alto em torno de 31,51% em peso. A alta perda ao fogo está relacionada a dois fatores principais: i) decomposição da calcita por liberação de CO<sub>2</sub> (CaCO<sub>3</sub>→CaO + CO<sub>2</sub>); e ii) decomposição da matéria orgânica presente no resíduo de casca de ovo.

**Tabela 4.1 - Composição química do resíduo de casca de ovo.**

<b>Óxidos</b>	<b>% em Peso</b>
CaO	66,627
K <sub>2</sub> O	0,955
SO <sub>3</sub>	0,798
SrO	0,1003
ZrO <sub>2</sub>	0,0137
Perda ao Fogo	31,506
<b>Total</b>	<b>100%</b>

### 4.1.2 - Caracterização mineralógica (DRX)

A Figura 4.1 apresenta o difratograma de raios X da amostra de resíduo de casca de ovo utilizado. Observa-se que todos os picos de difração estão relacionados com a calcita de acordo com a ficha padrão de calcita (JCPDS nº01-0837). Assim, comprova-se que o resultado da análise mineralógica está compatível com a composição química.



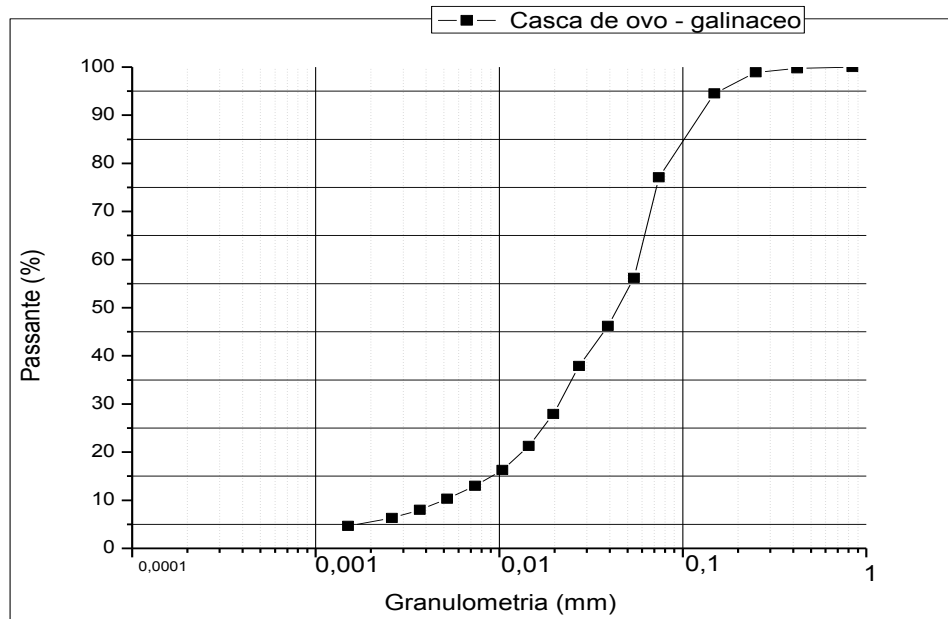
**Figura 4.1** - Difratograma de raios-X da amostra de casca de ovo galináceo.

### 4.1.3 – Análise granulométrica

A Figura 4.2 apresenta o comportamento granulométrico da amostra de resíduo de casca de ovo após processo de cominuição. Pode-se observar que o resíduo apresenta os seguintes valores:

- 7 % de fração argila (< 2  $\mu\text{m}$ )
- 71 % de fração silte (2-63  $\mu\text{m}$ )
- 22 % de fração areia (> 63 $\mu\text{m}$ )

Dessa forma, o resíduo de casca de ovo possui características semelhantes a um talco de categoria silte. Esse fator demonstra que o resíduo de casca de ovo nesse intervalo de granulometrias possui boa trabalhabilidade para produzir uma massa.



**Figura 4.2** - Curva granulométrica do resíduo de casca de ovo galináceo.

#### 4.1.4 - Densidade real dos grãos e umidade

Os valores da densidade real dos grãos e umidade higroscópica são mostrados na Tabela 4.2. Nota-se que o resíduo de casca de ovo possui baixa umidade higroscópica. A densidade real do resíduo de casca de ovo reflete a sua mineralogia, onde é constituída principalmente por calcita.

**Tabela 4.2** - Características do resíduo casca de ovo.

Propriedades físicas	Valor
Densidade dos grãos ( $\text{g/cm}^3$ )	2,41
Umidade higroscópica (%)	1,7

## 4.2 – Aparência dos Corpos de Prova

Os corpos de prova das formulações testadas são apresentados nas Figuras 4.3 – 4.6. Nota-se que os corpos de prova apresentam distintas coloração e tonalidade, dependendo da composição em termos de resina epóxi e resíduo de casca de ovo. Verifica-se também que os corpos de prova produzidos com resíduo de casca de ovo de mais fina granulometria apresentam um aspecto superficial mais suave com menos poros.



Figura 4.3 - Formulação resina poliéster/RCOG 50 x 50.



Figura 4.4 - Formulação resina poliéster/RCOG 55 x 45.



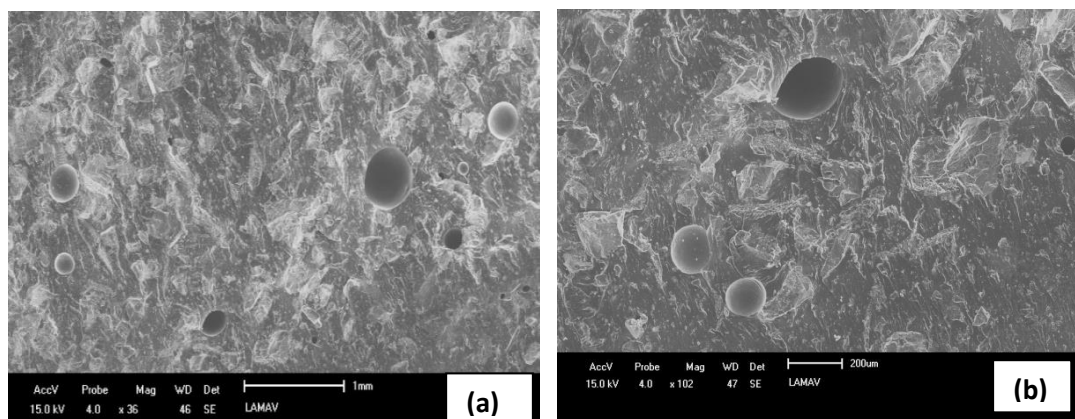
Figura 4.5 - Formulação resina poliéster/RCOG 60 x 40.



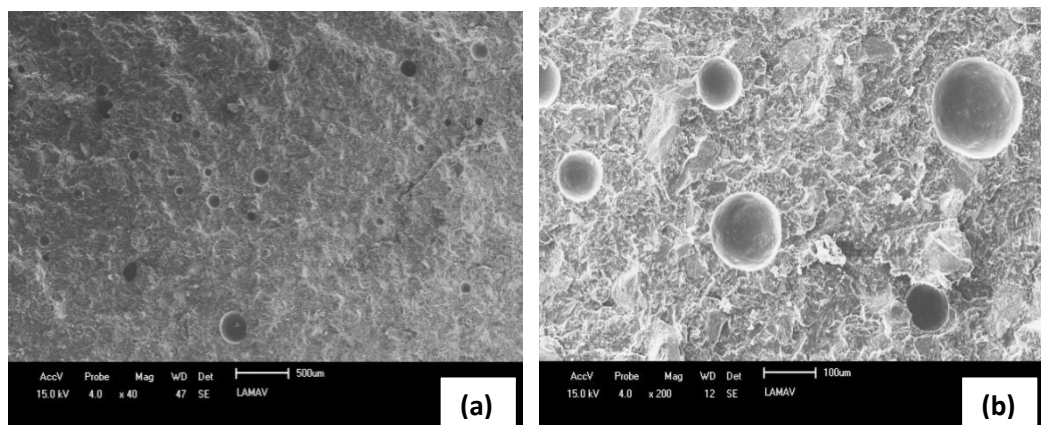
Figura 4.6 - Formulação resina poliéster/RCOG 65 x 35.

### 4.3 – Análise Microestrutural

Ao realizar análise da microestrutura via microscopia eletrônica de varredura na região da fratura dos corpos de prova, não foram encontradas fendas ou trincas. Entretanto, pode-se observar nas Figuras 4.7 – 4.18 em todas as formulações testadas, a presença de bolhas originadas da resina, além de diversos poros. A análise por MEV foi realizado em cada lote de percentual resíduo e resina.

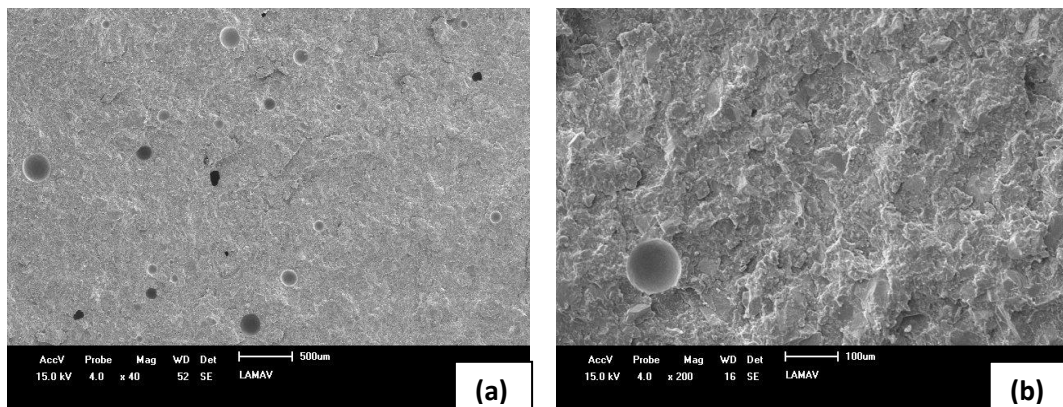


**Figura 4.7-** MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 50x 50 (60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 100x

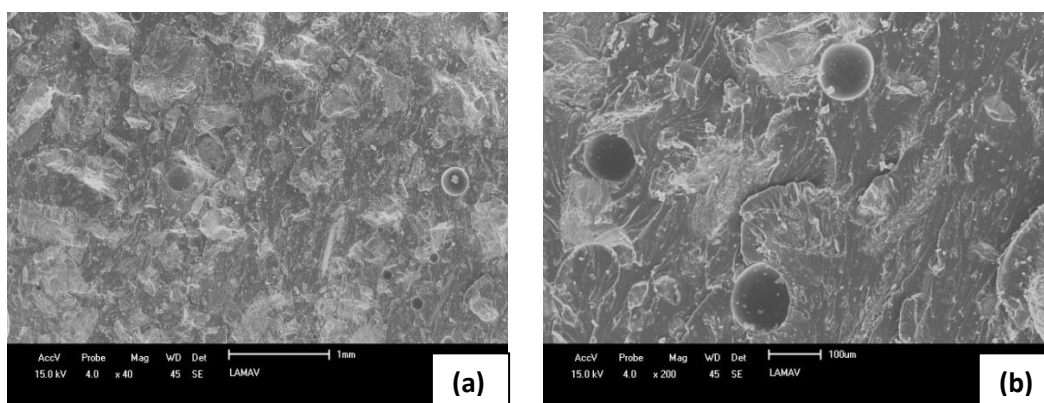


**Figura 4.8 -** MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 50 x 50 (100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.

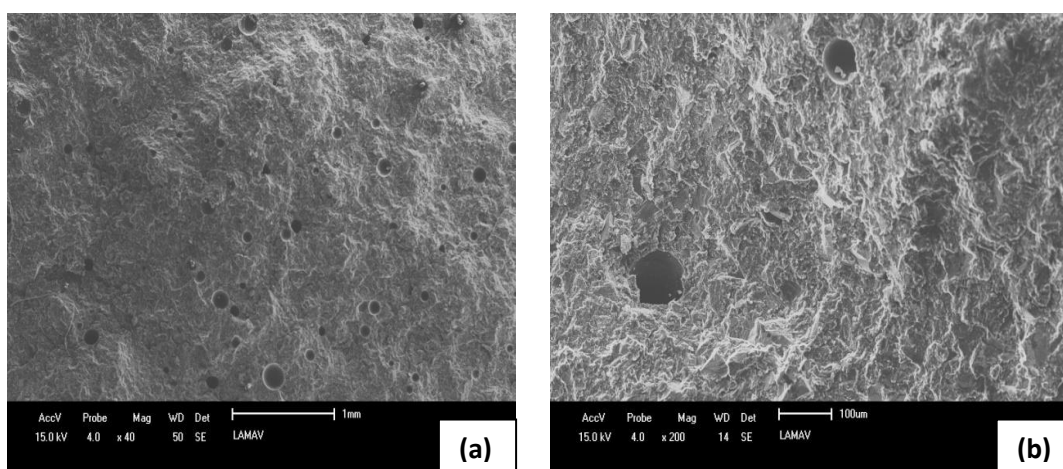




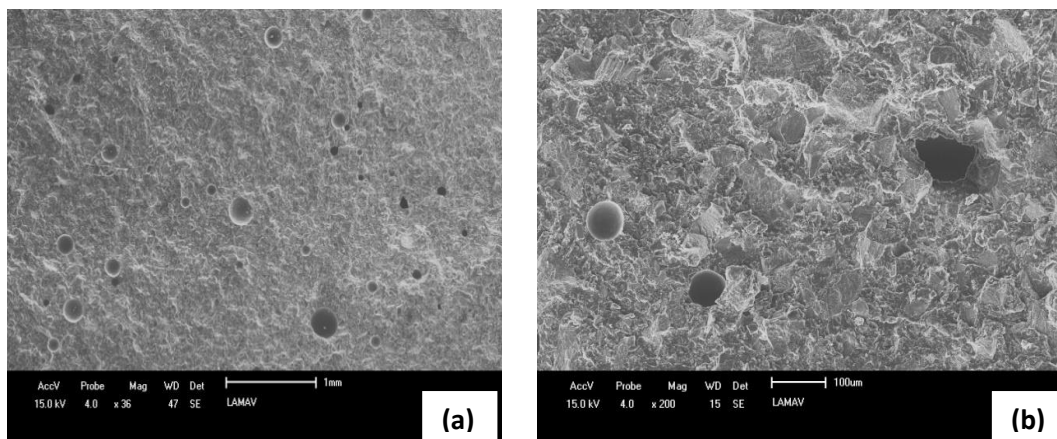
**Figura 4.9** -MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 50 x 50 (150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



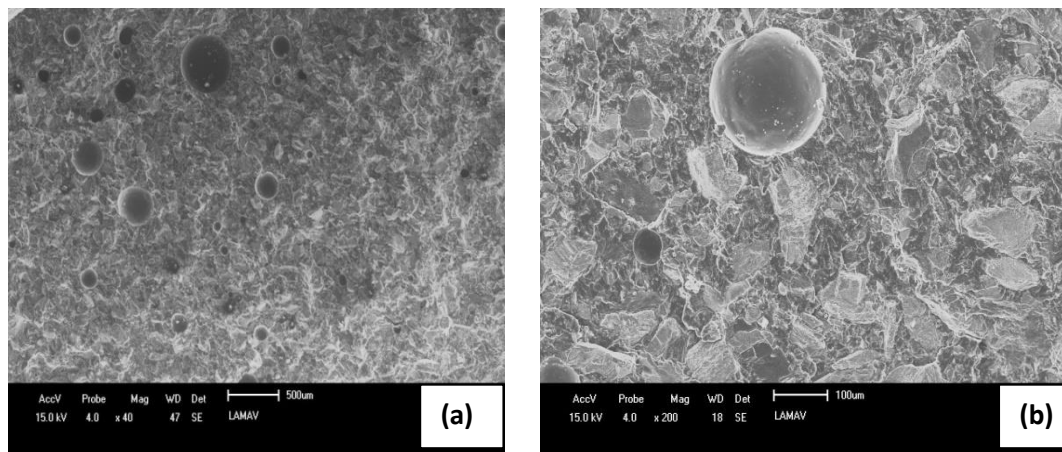
**Figura 4.10**- MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 55 x 45 (60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



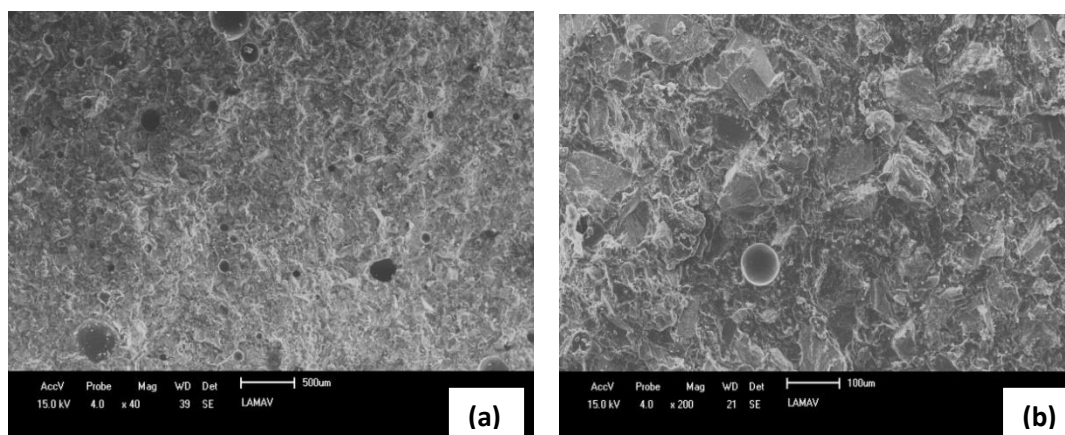
**Figura 4.11**- MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 55 x 45 (100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



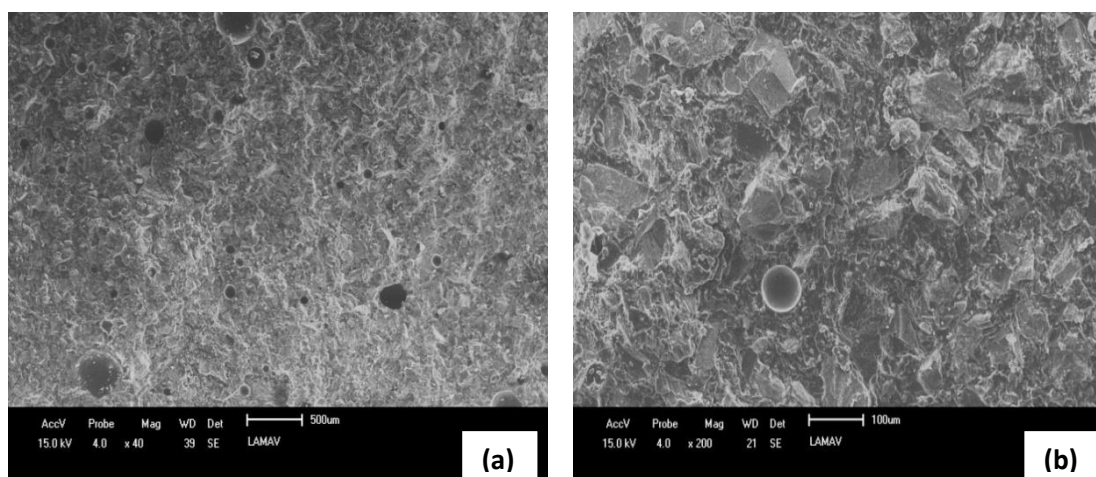
**Figura 4.12** -MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 55 x 45 (150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



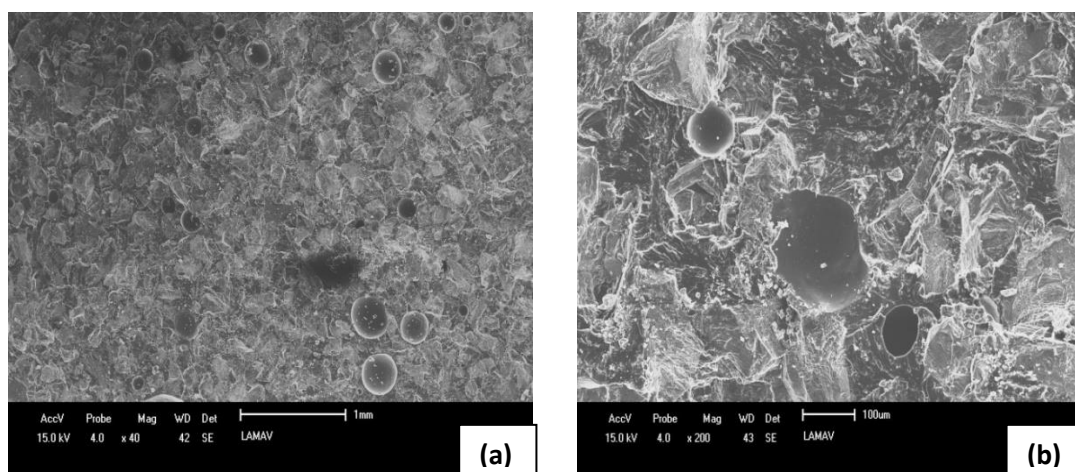
**Figura 4.13**- MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 60 x 40 (60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



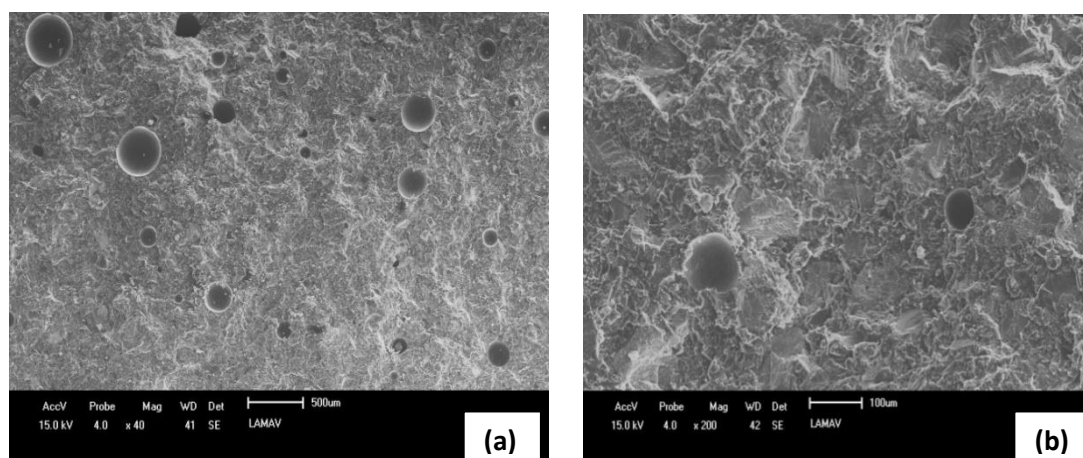
**Figura 4.14**- MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 60 x 40 (100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



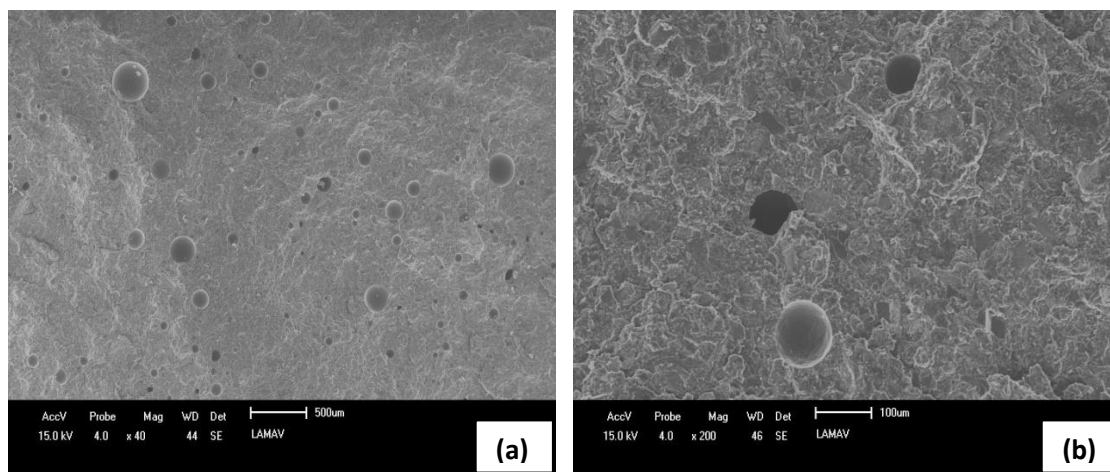
**Figura 4.15-** MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 60 x 40 (150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



**Figura 4.16-** MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 65 x 35 (60 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



**Figura 4.17** - MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 65 x 35 (100 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.



**Figura 4.18**-MEV da superfície de fratura da formulação resina poliéster/RCOG 65 x 35 (150 mesh), com aumento de (a) 40x e (b) 200x.

Nota-se que nas menores granulometrias (100 e 150 mesh) o material apresentou superfícies mais homogêneas e com menores quantidades de bolhas e poros, enquanto que os corpos de prova produzidos em maior granulometria(60 mesh) apresentaram uma superfície mais rugosa, irregular e com maior quantidade de bolhas e poros. Este fato evidencia que quanto menor o tamanho da partícula de resíduo de casca de ovo, maior a adesão pela resina e menor o espaço entre os mesmos.(Ribeiro,2011)

Uma possível causa para o aparecimento dessas imperfeições indesejáveis se deve à falta do processo de vibro-compressão a vácuo. Este método permitiria uma compactação do corpo de prova, eliminando e reduzindo ao máximo o surgimento dessas bolhas. Por inviabilidade esse processo foi substituído apenas pela vibração e vácuo simultaneamente.

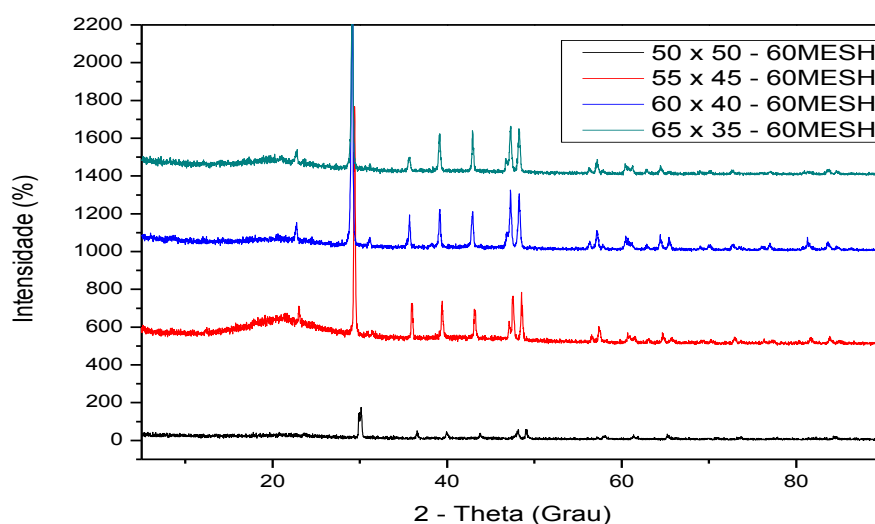
Ribeiro (2011) analisou a região da fratura em mármore comerciais e o mármore produzido (artificial). Em sua comparação, o mármore artificial apresentou em sua área de fratura, superfície extremamente rugosa, com ocorrência de trincas, fendas e espaços vazios, evidenciando uma baixa adesão das partículas. Esses fatores justificam a alta absorção de água e baixa resistência mecânica para o compósito produzido. Ribeiro utilizou um mix de granulometrias variadas, o que contribuiu para a ocorrência desses defeitos,

enquanto que no mármore comercial, observou-se a presença de partículas de pequenos tamanhos e dessa forma menor ocorrência de defeitos.

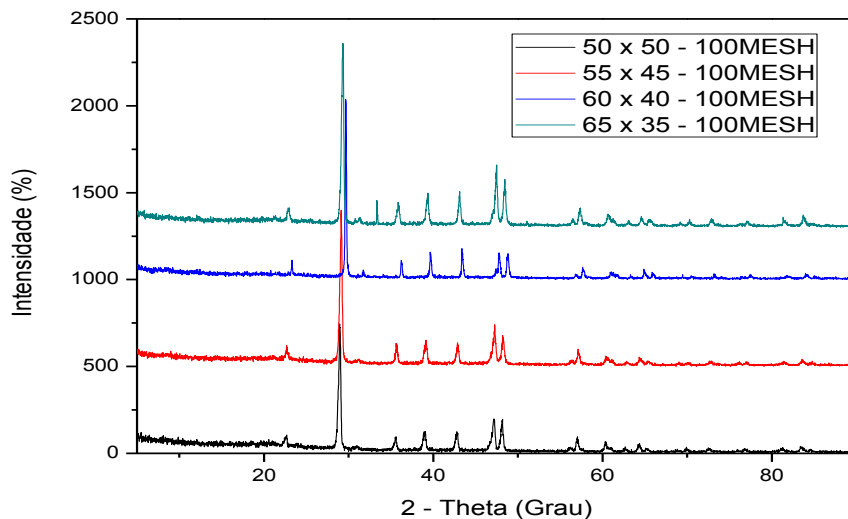
Silva (2013) analisou a superfície compactada e a superfície de fratura e observou que as três granulometrias de quartzo utilizadas se distribuíram de maneira homogênea no material e em decorrência disso, não foram identificadas grandes falhas de compactação, nem indícios de fendas ou orifícios comprovando a eficiência da vibro-compactação.

#### 4.4 – Análise Via Difração de Raios-X

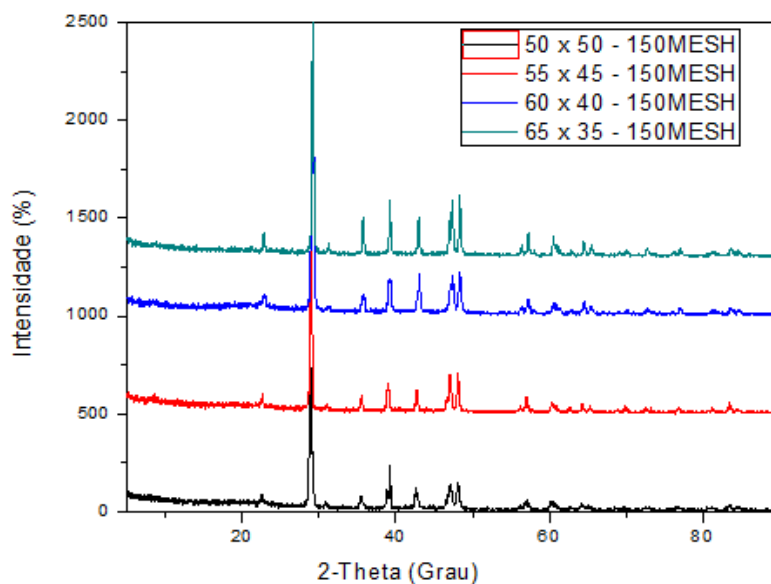
Nas Figuras 4.19 e 4.20 são apresentados os difratogramas de raios-X para os corpos de prova preparados com resíduo de casca de ovo nas granulometrias de 60 e 100 mesh, respectivamente. Já a Figura 4.21 corresponde à ficha padrão da calcita pura (JCPDS nº 01-0837). Nota-se que os difratogramas apresentam uma banda amorfa característica da resina poliéster e picos de difração característicos da calcita. Os picos de calcita devem-se ao resíduo de casca de ovo utilizado. Pode-se observar também que os picos de intensidade da calcita reduzem quando a proporção de resíduo é igual à de resina. Esse fato foi observado na maior granulometria (60 mesh), o que não ocorreu na menor granulometria (100 mesh).



**Figura 4.19** - DRX da rocha carbonática artificial em diferentes percentuais de resina/resíduo e granulometria de 60 mesh.



**Figura 4.20**- DRX da rocha carbonática artificial em diferentes percentuais de resina/resíduo e granulometria de 100 mesh.



**Figura 4.21**- DRX da rocha carbonática artificial em diferentes percentuais de resina/resíduo e granulometria de 150 mesh.

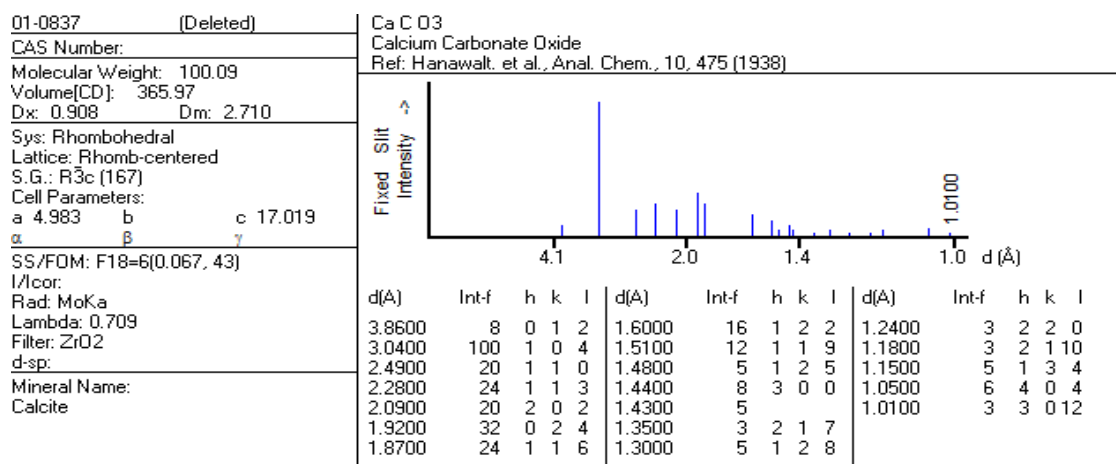


Figura 4.22– Ficha padrão da calcita (CaCO<sub>3</sub>) nº 01-0837.

#### 4.5 – Propriedades Técnicas da rocha carbonática artificial

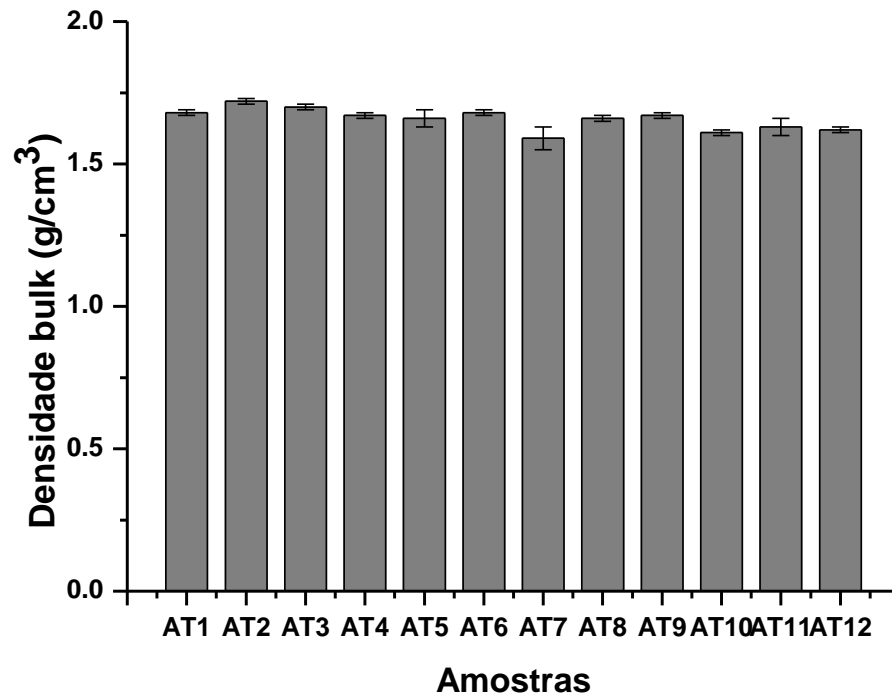
Na Tabela 4.3 são apresentadas as propriedades técnicas (AA – absorção de água, PA – porosidade aparente, Db – densidade bulk e TRF – tensão de ruptura a flexão) dos corpos de prova de rocha carbonática contendo resíduo de casca de ovo. Para melhor compreensão do efeito do resíduo de casca de ovo foram construídos diversos gráficos tipo propriedade técnica versus composição mostrados nas Figuras 4.23 – 4.25.

**Tabela 4.3 – Propriedades técnicas dos corpos de prova produzidos.**

Amostras	AA (%)	PA (%)	Db (g/cm <sup>3</sup> )	TRF (MPa)
AT1	0,97 ± 0,36	1,67 ± 0,58	1,68 ± 0,01	30,33 ± 4,33
AT2	1,16 ± 0,15	1,99 ± 0,25	1,72 ± 0,01	38,61 ± 5,83
AT3	0,88 ± 0,14	1,49 ± 0,23	1,70 ± 0,01	41,70 ± 5,41
AT4	1,58 ± 0,34	2,64 ± 0,55	1,67 ± 0,01	49,10 ± 5,79
AT5	1,54 ± 0,58	2,54 ± 0,92	1,66 ± 0,03	42,58 ± 4,95
AT6	0,72 ± 0,21	1,21 ± 0,35	1,68 ± 0,01	51,65 ± 3,58
AT7	1,33 ± 0,28	2,11 ± 0,42	1,59 ± 0,03	33,31 ± 5,43
AT8	1,12 ± 0,24	1,86 ± 0,40	1,66 ± 0,01	45,95 ± 5,63
AT9	0,77 ± 0,14	1,29 ± 0,22	1,67 ± 0,01	37,26 ± 7,23
AT10	0,99 ± 0,20	1,61 ± 0,32	1,61 ± 0,01	35,09 ± 1,93
AT11	0,76 ± 0,14	1,26 ± 0,21	1,63 ± 0,03	43,74 ± 5,02
AT12	0,86 ± 0,15	1,41 ± 0,25	1,62 ± 0,01	45,17 ± 4,03

Na Figura 4.3 são apresentados os valores de densidade bulk dos corpos de prova preparados com resíduo de casca de ovo em distintas granulometrias. Os resultados mostram que os valores de densidade bulk são maiores para os compósitos resina poliéster -resíduo com maior concentração de resíduo de casca de ovo galináceo. Isto está relacionado ao maior valor de densidade do resíduo de casca de ovo (2,41 g/cm<sup>3</sup>) que é o componente de reforço em relação à resina poliéster(matriz) utilizada. Nota-se também que os corpos de prova preparados com granulometria mais fina do resíduo de casca de ovo (100 e 150 mesh) são ligeiramente mais densos. Os valores de densidade bulk encontrados na faixa de 1,59 – 1,72 g/cm<sup>3</sup> são inferiores aqueles das rochas carbonáticas naturais como, por exemplo, mármore (2,56-2,80 g/cm<sup>3</sup>)(Menezes e Larizzatti,2005). Isto é importante devido à rocha carbonática artificial produzida com resíduo de casca de ovo ser mais leve do que as rochas naturais normalmente usadas na indústria da construção civil.





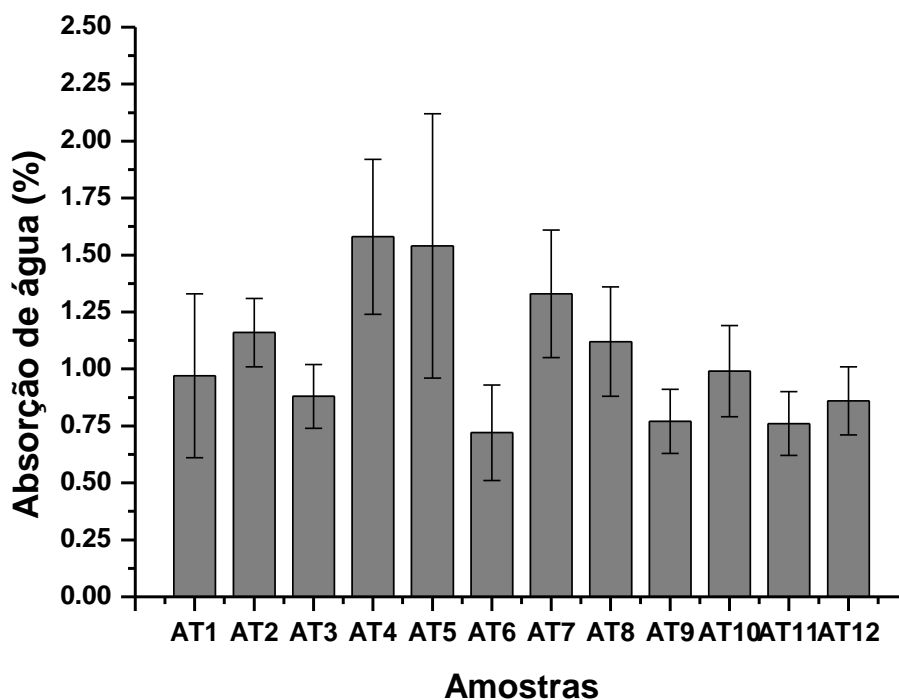
**Figura 4.23**– Densidade bulk dos corpos de prova de rocha carbonática.

A Figura 4.24 apresenta a absorção de água dos corpos de prova como uma função da quantidade de resíduo de casca de ovo e granulometria. A absorção de água é uma propriedade física importante usada como um dos parâmetros para determinar a qualidade técnica de produtos de pisos e revestimentos. Ela está diretamente relacionada ao nível de porosidade aberta do corpo de prova. Nota-se que os valores de absorção de água apresentam distintos comportamentos, dependendo da quantidade de resíduo e da granulometria usada. Para o resíduo de casca de ovo com granulometrias de 60 mesh e 100 mesh, inicialmente a absorção de água aumentou com adição de até 60 % em peso de resíduo. Novo aumento de resíduo (65%) resultou na diminuição dos valores de absorção de água. Já para a fração mais fina (150 mesh), os valores de absorção de água apresentaram somente pequenas diferenças. Os valores de porosidade aparente (Fig. 4.5) segue um comportamento muito similar aquele da absorção de água.

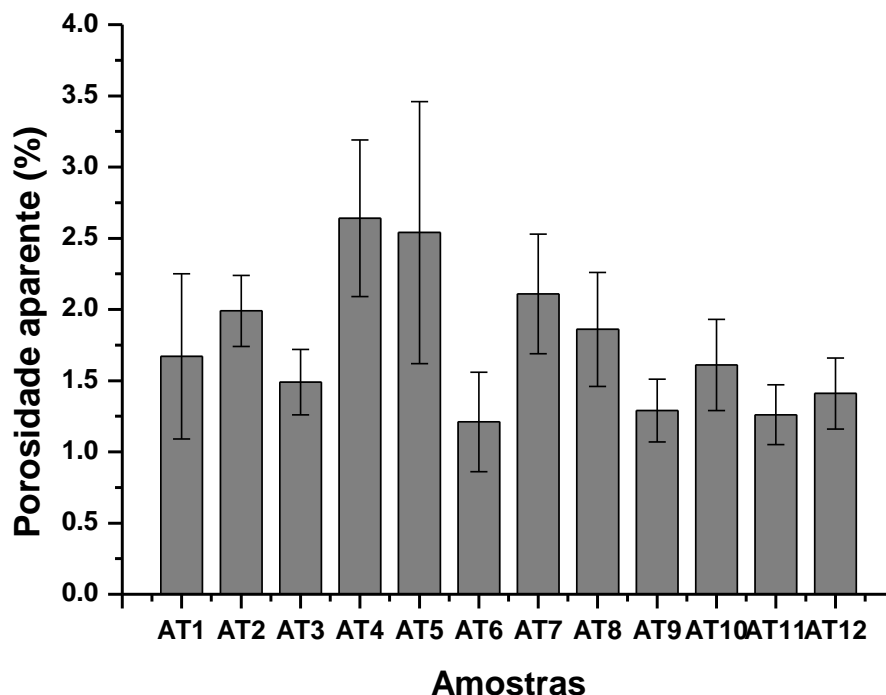
Os valores de absorção de água dos corpos de prova produzidos estão compreendidos na faixa de 0,72 – 1,58 % e aqueles de porosidade aparente na faixa de 1,21 – 2,64 %. Assim, a maioria das peças de rocha carbonática artificial produzidas podem ser classificadas como sendo de média absorção de água (0,40 – 0,70 %) e média porosidade aparente (1,0 – 3,0 %)(Abirochas e Simag, 2008). Em termos de granulometria do resíduo de casca de ovo, observa-se que os corpos de prova produzidos usando resíduo de casca de ovo com granulometria mais fina tendem a apresentar os melhores valores em termos de absorção de água e porosidade aparente.

Ribeiro (2011), encontrou para absorção de água em seu mármore artificial, valores com média igual a 3,64% e porosidade média igual a 8,28%. Esses resultados foram muito superiores ao esperado para mármore sintéticos, que tem para absorção de água, valores desejados até 0,40%.

Um dos responsáveis pelos altos valores encontrados foi a falta de materiais finos, ou seja, uma menor granulometria na produção das peças, que resultou na presença de vazios, com alta porosidade.



**Figura 4.24** – Absorção de água dos corpos de prova de rocha carbonática.



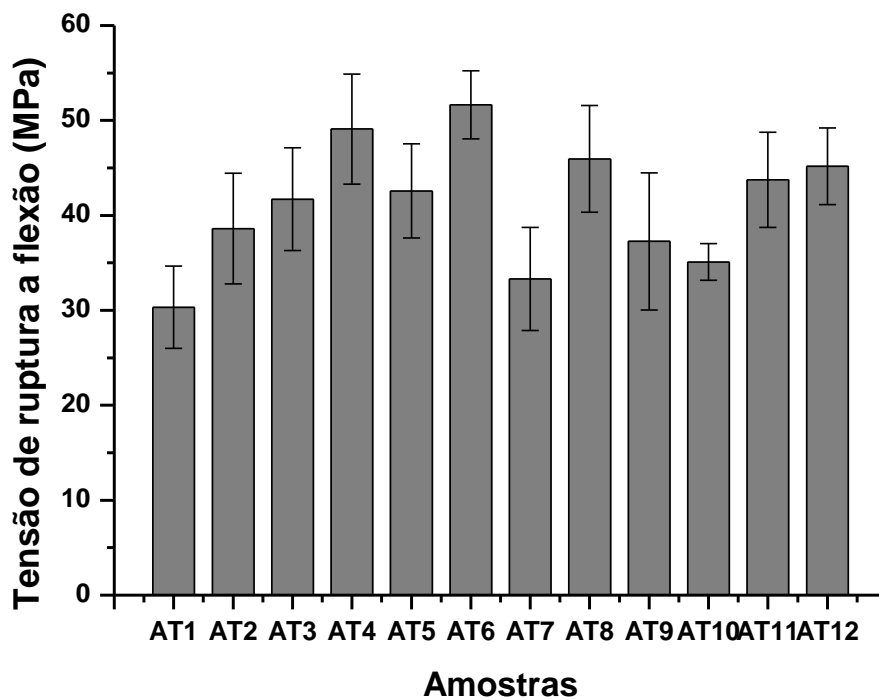
**Figura 4.25**– Porosidade aparente dos corpos de prova de rocha carbonática.

Na Figura 4.26 estão apresentados os valores de tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova em função da composição e granulometria do resíduo de casca de ovo utilizado. Pode-se observar que os valores de tensão de ruptura a flexão estão compreendidos na faixa de 30,33 – 51,65 MPa. Estes valores de resistência mecânica são muito importantes, pois caracterizam as rochas carbonáticas produzidas como sendo de alta resistência mecânica (>22 MPa) segundo a (Abirochas e Simag, 2008). Nota-se também que em geral os corpos de prova produzidos usando resíduo de casca de ovo com granulometria mais fina tendem a apresentar maior valor de resistência mecânica. Isto está de acordo com os valores de absorção de água e porosidade aparente.

Quanto à tensão de ruptura à flexão, Silva (2013) encontrou valores compreendidos entre 8,9 a 9,5 MPa para as pedras compostas de quartzo,

valores muito abaixo do esperado para rochas artificiais, porém na faixa para rochas naturais que é  $\geq 10$  Mpa.

Ribeiro (2011) encontrou em seu trabalho um valor médio de 16,58 Mpa, portanto dentro da faixa esperada para rochas artificiais.



**Figura 4.26** – Tensão de ruptura a flexão dos corpos de prova de rocha carbonática.

#### **4.5.1- Considerações Finais**

De um modo geral , foi observado neste trabalho que o material produzido obteve resultados consideráveis.

Nas análises de absorção de água e porosidade, o material obteve resultados em níveis médios e desses, os mais baixos e neste caso, os mais esperados foram encontrados nas menores granulometrias, que influenciou na boa adesão do material.

A baixa densidade do produto deve-se à baixa densidade da matéria prima utilizada, que foi a casca de ovo.

Em relação a análise de tensão de ruptura à flexão, o material produzido apresentou excelentes resultados, sendo considerado uma rocha artificial de bastante resistência.

Quanto à análise por MEV( Microscopia Eletrônica de Varredura) na superfície de fratura do material, este apresentou algumas anomalias, como diversos poros e bolhas originados da resina de poliéster. Mesmo com a adesão dos compósitos utilizados na obtenção da rocha artificial em questão, a falta da compressão aliada ao vácuo e à vibração simultaneamente contribuíram para o aparecimento de tais imperfeições , uma vez que , apenas foi utilizado a vibração e o vácuo em conjunto.

## CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES

### 5.1 - Conclusões

Nesta dissertação de mestrado foi estudada a preparação e caracterização de uma rocha carbonática artificial utilizando resíduo de casca de ovo galináceo como carga mineral e resina poliéster insaturada como aglomerante. Os resultados experimentais e a discussão deles permitiram as seguintes conclusões:

- O resíduo de casca de ovo galináceo é constituído essencialmente por carbonato de cálcio na forma de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Isto o torna uma importante fonte alternativa de material carbonático com potencial para preparação de rocha carbonática artificial. Destaca-se também que a reutilização deste resíduo sólido é de extrema importância, visto que é uma maneira de reduzir o descarte direto no meio ambiente, dando um descarte correto, além de agregar valor a este abundante resíduo.
- As variações granulométricas e percentuais de resíduos do material testado tiveram influência nos resultados de porosidade aparente, absorção de água e resistência mecânica. A granulometria de 150 mesh foi a que apresentou o melhor resultado nas análises de absorção de água, porosidade aparente e tensão de ruptura á flexão em todos os percentuais de resíduos testados. Nas proporções de extremos 50% e 65% os resultados foram mais altos do que os esperados, devido à maior influência da resina e de uma baixa homogeneização da massa, respectivamente.
- Análise microestrutural via microscopia eletrônica de varredura indicou que a rocha artificial produzida apresentou em sua superfície de fratura inúmeros poros e bolhas, provenientes da má polimerização da resina e principalmente pela não utilização do método de vibro-compressão a vácuo. Análise de fases via difração de raios-X indicou a presença da calcita em todas as formulações testadas, a qual está relacionada ao resíduo de casca de ovo galináceo utilizado.
- As análises físicas de absorção de água e porosidade aparente obtiveram resultados um pouco acima do esperado para rochas, ficando

classificados em nível médio. A densidade ficou abaixo da esperada para rochas que é acima de 2,5 g/cm<sup>3</sup>.

- Os resultados da análise de resistência à flexão evidenciaram que o material produzido (rocha artificial) possui boa resistência, com média de 47 MPa, muito acima do esperado para mármore(7 MPa) e granito (10,34 MPa).

## **5.2 - Sugestões para trabalhos futuros**

- Produzir a rocha carbonática artificial utilizando o método de vibro-compressão a vácuo.
- Analisar os índices físicos e mecânicos do material após a compactação dos mesmos e compará-los com os resultados obtidos sem esse método com o objetivo de avaliar as diferenças registradas.
- Utilizar na preparação da rocha, a resina poliéster previamente desidratada a fim de retirar o máximo de bolhas, que essa possa vir a formar durante o processo de produção do material.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alicante- Alicante Mármore e granito. Disponível em [www.alicante.com.br](http://www.alicante.com.br). Acesso em 13 de maio de 2014.

Aplicações de resinas. Disponível em [www.abiplast.org.br](http://www.abiplast.org.br). Acesso em 03 de maio de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). Solo: análise granulométrica. - NBR 7181, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). Resíduos sólidos: classificação – NBR 10004. Rio de Janeiro.

Bidone, F.R.; Povinelli, Jurandir. (1999). Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Paulo-SP, EECC-USP.

Boron, L. (2004) Citrato de cálcio da casca do ovo: biodisponibilidade e uso como suplemento alimentar. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Florianópolis – SC - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 132p.

Carvalho, M.C.; Holanda, J.N.F. (2011). Incorporação de resíduo de casca de ovo em tijolo solo-cimento. V Confit. Campos dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF.

Cavinato, M.L. (1998). Rochas e minerais: guia prático. São Paulo.

Conferência Nacional do Meio Ambiente, CNMA, (2013). Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 8 de maio de 2014.

Compostos químicos: Carbonatos. Disponível em <http://www.infoescola.com.br>. Acesso em 05 de maio de 2014.



Corrêa, T.H.A; (2014). Projeto de mestrado: Avaliação da aplicação de resíduo de casca de ovo na síntese de biocimentomicroestruturado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. UENF. Campos dos Goytacazes- RJ.

Costalonga, M. (2012). Projeto de Doutorado: Desenvolvimento de rocha artificial com pó de rocha e aglomerante polimérico. Universidade Estadual do Norte Fluminense. UENF. Campos dos Goytacazes-RJ.

E-civil : artigos técnicos. Rochas. Disponível em [www.ecivilnet.com](http://www.ecivilnet.com) , acesso em 06 de maio de 2014.

Gondim, B.A; Vieira, C.M.F; Ribeiro, C.E.G, (2013). Desenvolvimento de mármore artificial. V Confit. Campos dos Goytacazes, RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF.

INT, Instituto Nacional de Tecnologia. <http://www.int.gov.br> Acesso em 08 de maio de 2014.

Lima, R.P.D.(2010). Uso e aplicação de materiais artificiais como rocha ornamental. Dissertação de mestrado em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Pernambuco. 111p.

Lucci, A.L; Branco, A.L; Mendonça, C. (2007). A Terra- dinâmica, estrutura, forma e atividades humanas. *Geografia Geral e do Brasil*, 3.ed. São Paulo: Saraiva, p.300-314.

Mármore e Granitos: Disponível em <http://www.viamarmi.com.br> . Acesso em 10 de maio de 2014.

Mármore: o que é? Disponível em <http://www.bigpedras.com> . Acesso em 05 de maio de 2014.

Murakami, F. S., (2006). Estudo termoanalítico entre carbonato de cálcio industrial e carbonato de cálcio obtido da casca do ovo. V Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria – V CBRATEC.

Neves, M. A., (1998). Alternativas para valorização da casca de ovo como complemento alimentar e em implantes ósseos. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 02-57

O que é pedra artificial. Disponível em <http://www.pedraartificial.com.br>  
Acesso em 08 de maio de 2014.

Oliveira.D.A, Benelli,P. Amante.E.R. (2009). Valorização de resíduos sólidos: casca de ovo como matéria prima no desenvolvimento de novos produtos . 2ª Internacional Workshop Advances in CleanerProduction .

Palhares, J.C.P, (2005).Novo Desafio para a avicultura: A Inserção das questões ambientais nos modelos produtivos brasileiros. EMBRAPA.

Pimenta,A.R.; Leitão,F.D.C; Silva,R.M; Diniz,M.G. (2009). Análise de falha de uma máquina de ensaio. Revista perspectivas da ciência e tecnologia.v1.n1.Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, Brasil.

Resina poliéster insaturado. Disponível em [www.silaex.com.br](http://www.silaex.com.br) . Acesso em 16 de fevereiro de 2014.

Resina poliéster. Disponível em [www.embrapol.com.br](http://www.embrapol.com.br) . Acesso em 15 de fevereiro de 2014.

Rheinheimer, V.(2001) Utilização de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Escola de engenharia.Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Ribeiro,C.E.G. (2011).Produção de Rocha Artificial utilizando resíduo da indústria de mármore em matriz poliéster. Dissertação( Mestrado em Engenharia e Ciência dos materiais.)Campos dos Goytacazes- RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense,UENF,91p.

Sanchez, E.M.S; Cavani, C.S.; Leal. C,V; Sanchez,C.G. (2010). Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana de açúcar: Influência do tratamento das fibras nas propriedades. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP.

Silva,G.D.L.(2013)."Estudo da obtenção e caracterização de pedra composta Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais da Redemat).Ouro Preto-MG. Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP,62 p.

Universo Sustentável.(2015) Lixo e seu porvir. Universidade São Judas Tadeu.

Uso econômico das rochas. Disponível em [www.mundoeducacao.com](http://www.mundoeducacao.com) Acesso em 12 de fevereiro de 2014.

US Patent 20080311339A1, Method for manufacturing articles in the form of a sheet made of Stone-like material associated articles, Luca Toncelli, 2008.