

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA

NATÁLIA CASTANHO CHAGAS

ESTUDO DO GRANITO SINTÉTICO PARA BASE DE MÁQUINAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

CORNÉLIO PROCÓPIO
2014

NATÁLIA CASTANHO CHAGAS

ESTUDO DO GRANITO SINTÉTICO PARA BASE DE MÁQUINAS

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à
Coordenação de Engenharia Mecânica
(COEME), da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami.

CORNÉLIO PROCÓPIO
2014



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO GRANITO SINTÉTICO PARA BASE DE MÁQUINAS

POR

NATÁLIA CASTANHO CHAGAS

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às _____ do dia _____ de dezembro de 2014 como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO MECÂNICO, linha de pesquisa – Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

(aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado)

Obs: A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso (ou Programa).

Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami
(UTFPR)
orientador

Prof. Dr. Adailton Silva Borges
(UTFPR)

Prof. Me. Fernando Henrique de Oliveira Camara
(UTFPR)

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por traçar meu caminho e iluminar minhas decisões.

Gostaria de deixar registrado meu reconhecimento à minha família, meu padrasto Wilson Parpinelli, por ter cuidado de mim como filha, por ter dado toda a base que necessitei para fazer faculdade e minha mãe Daysemara pelo cuidados, sem eles o caminho percorrido não seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami pelo trabalho sugerido e pelas orientações.

Aos meus colegas que me deram força ou que de alguma forma se preocuparam.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Cornélio Procópio - por ter cedido os materiais e o laboratório.

Ao Marcos Taguti que mesmo sem ter responsabilidade alguma, se dispões com paciência a qualquer momento ajudar e me ensinou elementos importantes para a construção deste trabalho.

Ao Vinicius Lopes que de bom grado tirou uma tarde para me ensinar o que precisava para terminar meu trabalho.

A minha banca que auxiliou na correção deste trabalho e deram opiniões construtivas

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

Onde há estudo. Há sabedoria

RESUMO

CHAGAS, Natália Castanho. **Estudo do Granito Sintético para base de máquinas.**2014. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Considerando o mercado industrial e o conhecimento de pesquisas na área de materiais, encontrou-se uma atividade ampla no estudo de materiais para bases de máquinas. Essas bases podem alterar os resultados fornecidos pela máquina, dependendo do material que for utilizado e de suas características de absorção de vibração, resistência mecânica, coeficiente de dilatação térmica, entre outros. O trabalho tem como objetivo estudar o processo de fabricação de um granito sintético, realizar ensaios de compressão e comparar os resultados entre o material com 30%, 25% e 20% de resina epóxi.

Palavras-chave: Granito Sintético. Ensaio de Compressão. Resina Epóxi

ABSTRACT

CHAGAS, Natália Castanho. **Estudo do Granito Sintético para base de máquinas.**2014. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2014.

Considering the industrial market and the knowledge of research in the area of materials, there is a wide activity in study materials for machine bases. These bases may alter the results given by the machine, depending on the material used and its vibration absorption characteristics, mechanical strength, thermal expansion coefficient, etc. The work aims to study the synthetic granite manufacturing process, performing compression tests and compare the results between the material with 30%, 25% and 20% epoxy resin.

Palavras-chave: Synthetic Granite. Test Compression. Epoxy Resin.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO CONVENCIONAL.....	15
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA CURVA TENSÃO- DEFORMAÇÃO REAL E DE ENGENHARIA DE UMA MATERIAL METÁLICO.....	18
FIGURA 3 – SILICONE LÍQUIDO.....	21
FIGURA 4 – CATALIZADOR.....	22
FIGURA 5 – RESINA EPÓXI.....	22
FIGURA 6 – ENDURECEDOR SQ – 3154.....	23
FIGURA 7 – GRANITO NATURAL.....	23
FIGURA 8 – FLUXO DE PRODUÇÃO DE CORPO DE PROVA (CP) GRANITO-EPÓXI.....	24
FIGURA 9 – GRÃOS DE GRANITO TRITURADO.....	25
FIGURA 10 – PENEIRA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA COM 2.00 MM/ μ M DE ABERTURA.....	26
FIGURA 11 – MÁQUINA DE VÁCUO.....	27
FIGURA 12 – MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO.....	27
FIGURA 13 – MÁQUINA DE PRESSÃO.....	27
FIGURA 14 – MOLDES COM TAMPA DE PLÁSTICO.....	28
FIGURA 15 – TORNO MECÂNICO.....	29
FIGURA 16 – MÁQUINA DE ENSAIO TIME GROUP, MODELO WDW-100.....	31
FIGURA 17 – GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO REAL DO GRANITO SINTÉTICO 30% DE RESINA EPÓXI.....	32
FIGURA 18 – GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE ENGENHARIA DO GRANITO SINTÉTICO 30% DE RESINA EPÓXI.....	32
FIGURA 19 – GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO REAL DO GRANITO SINTÉTICO 25% DE RESINA EPÓXI.....	33
FIGURA 20 – GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE ENGENHARIA DO GRANITO SINTÉTICO 25% DE RESINA EPÓXI.....	33
FIGURA 21 – GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO REAL DO GRANITO SINTÉTICO 20% DE RESINA EPÓXI.....	34
FIGURA 22 – GRÁFICO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE ENGENHARIA DO GRANITO SINTÉTICO 20% DE RESINA EPÓXI.....	35

LISTA DE SÍMBOLOS

ε	Deformação
$\sigma_{eng.}$	Tensão de Engenharia
$\varepsilon_{eng.}$	Deformação de Engenharia ou convencional
σ_{real}	Tensão real
ε_{real}	Deformação real
L_0	Comprimento inicial
L	Comprimento final
ΔL	Variação do comprimento
P	Carga na amostra
A_0	Área da seção inicial
S	Área da seção transversal
σ_p	Limite de Proporcionalidade
E	Módulo de Elasticidade
σ_E	Limite de Escoamento
σ_u	Limite de Resistência a Tração
σ_f	Tensão de ruptura
Δl	Alongamento
U_r	Módulo de Resiliência

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DO GRANITO.....	12
TABELA 2 – VALORES DE MASSA PARA CADA TAMANHO DE GRÃO (30% DE RESINA)	26
TABELA 3 – VALORES EM MASSA PARA A FABRICAÇÃO DA RESINA EPÓXI (30% DE RESINA)	26
TABELA 4 – VALORES DE MASSA PARA CADA TAMANHO DE GRÃO (25% DE RESINA)	29
TABELA 5 – VALORES EM MASSA PARA A FABRICAÇÃO DA RESINA EPÓXI (25% DE RESINA)	29
TABELA 6 – VALORES DE MASSA PARA CADA TAMANHO DE GRÃO (20% DE RESINA)	30
TABELA 7 – VALORES EM MASSA PARA A FABRICAÇÃO DA RESINA EPÓXI (20% DE RESINA)	30
TABELA 8 – RESULTADOS GRÁFICOS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE ENGENHARIA.....	35
TABELA 9 – RESULTADOS GRÁFICOS TENSÃO-DEFORMAÇÃO REAL.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	11
1.2.1 Granito.....	11
1.2.2 Granito Sintético.....	12
1.2.3 Ensaio Mecânico.....	12
1.2.4 Ensaio Mecânico de Compressão.....	13
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	19
1.3.1 Causas do Desbalanceamento.....	19
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
2.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	21
2.2 METODOLOGIA.....	24
2.2.1 Corpos de prova em Granito Sintético.....	25
3 RESULTADOS	31
4 CONCLUSÃO	36
5 REFERÊNCIAS.....	37
APÊNDICES.....	39

1 INTRODUÇÃO

Estudo de materiais para construção de bases de máquinas vem aumentando com o passar do tempo, pois esses requerem propriedades com boa resistência mecânica associada a uma elevada absorção de vibração, assim melhorando a precisão de resultados desses equipamentos. Boa propriedade também está ligada a menor tempo de manutenção, eliminando desperdícios e custos para as empresas. Segundo Pinto e Xavier (2009) a manutenção de uma máquina tem os seguintes gastos dentro de uma fábrica:

A manutenção é muitas vezes mais efetiva pela adoção de melhores práticas do que a aplicação de cortes indiscriminados, sobre o impacto financeiro uma manutenção corretiva não planejada gera 17 a 18 US\$/HP/Ano, a manutenção preventiva de 11 a 13 US\$/HP/Ano e a Preditiva de 7 a 9 US\$/HP/Ano.

Os materiais empregados em bases de máquinas quando estudados podem trazer benefícios, tanto na sua aplicabilidade, como na manutenção. Geralmente bases de máquinas são feitas de ferro fundido e de Granito, o ferro fundido possui elevado valor de coeficiente de expansão térmica e de condutividade, que proporcionam erros na fabricação devido a variação dimensionais causadas pela expansão e contração térmica. Já o Granito Sintético segundo Filho e Neto (2010) possui três vezes maior amortecimento do que o ferro fundido cinzento, para o mesmo volume de material.

Como pode ser observado o estudo desses materiais pode ser viável, uma máquina pode fazer o serviço de forma autônoma, desde que, opere corretamente, mesmo quando se necessita de uma mão de obra especializada na análise de vibração.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar o processo de fabricação do granito sintético para que possa ser utilizado como base de uma bancada de ensaio de vibração do laboratório de vibração da UTFPR Câmpus Cornélio Procópio.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Estudar a fabricação do Granito Sintético;

- Estudar o molde que será usado nos corpos de prova;
- Preparar os corpos de prova;
- Fazer ensaios mecânicos de compressão;
- Comparar a resistência a compressão entre granito sintético com 30%, 25% e 20% de resina epóxi.

1.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O trabalho consiste no estudo dos conceitos sobre granito, granito sintético, ensaios mecânicos, ensaio mecânicos de compressão, subsequente será mostrado as causas do desbalanceamento em máquinas rotativas, a metodologia para construir o Granito Sintético, os resultados do ensaio de compressão e por fim uma comparação entre o granito sintético com 30%, 25% e 20% de resina epóxi.

1.2.1 Granito

Segundo Moreiras (2005) “do ponto de vista comercial as rochas são agrupadas em dois tipos, os mármore e os granitos”. Os mármore englobam todas as rochas carbonáticas e os granitos abrangem, genericamente, as rochas silicáticas.

Segundo Matweb... (2014) o granito é uma rocha ígnea com um misto de textura e cores, possuem grãos maiores que 3mm, sendo composto por 65% de sílica e cerca de 5 a 35% de quartzo. Os valores das propriedades variam, quando se pensa na resistência a compressão o granito possui cerca de 96.5 á 310 MPa, evidenciando um material muito resistente, a Tabela 1 é possível encontrar as principais propriedades do Granito.

Tabela 1: Propriedades Mecânicas do Granito.

Resistência a tração	7.00 – 25.0 MPa
Módulo de Elasticidade	20.6 – 60.0 GPa
Módulo de Ruptura	0.00900 - 0.0379 GPa
Força Transversal	9.00 - 38.0 MPa
Resistência a Compressão	96.5 – 310 MPa

Fonte: Matweb... (2014).

1.2.2 Granito Sintético

O granito sintético é um material estrutural constituído de agregados de granito natural de alta qualidade e de resina epóxi ou fenólica. A proporção em peso da resina na mistura é normalmente da ordem de 10 a 30% e varia em função da aplicação, características mecânicas desejadas e geometria da peça a ser construída. (RIBEIRO; PURQUERIO, 1999) Junto ao granito deve ir a resina epóxi, segundo Jesus (2005) resina epóxi é um polímero que contém dois ou mais grupos epóxi. A resina epóxi vem ganhando grande aceitação no mercado de moldagem por ter as seguintes vantagens:

- Excelente adesão a uma grande variedade de cargas;
- Obtenção de precisão dimensional na fabricação de estruturas;
- Boa resistência em ambientes quimicamente agressivo, tanto aquoso como não aquoso.

1.2.3 Ensaio Mecânico

Segundo Garcia; Spim e Santos (2000) os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades mecânicas que se referem ao comportamento do material.

Entre as principais propriedades dos materiais obtidas por ensaio, podem-se citar:

- Resistência: Representa por tensões, definidas em condições particulares.
- Elasticidade: Propriedade do material segundo a qual a deformação, que ocorre em função da aplicação de tensão, desaparece quando a tensão é retirada.
- Plasticidade: Capacidade do material sofrer deformação permanente sem se romper.
- Resiliência: Capacidade de absorção de energia no regime elástico.
- Tenacidade: Reflete a energia total necessária para provocar fratura do material, desde a sua condição de tensão nula.

É através dos ensaios mecânicos que são obtidas informações sobre as características mecânicas dos materiais para que a qualidade do produto seja mais uniforme e permite comparar resultados obtidos em diferentes lugares.

Os critérios de especificação ou escolha de materiais impõe, para a realização dos ensaios, métodos normalizados que objetiva levantar as propriedades mecânicas e seu comportamento sob determinadas condições de esforços. Essa norma é fundamental para que se estabeleça uma linguagem comum entre fornecedores e usuários dos materiais.

Dentre os diversos ensaios disponíveis para avaliação das propriedades mecânicas dos materiais, os mais utilizados são os ensaios de tração e compressão. (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2000).

Para a caracterização mecânica do granito sintético, o ensaio de compressão será empregado, pois quando um material é submetido a cargas de compressão, as relações entre tensão e deformação são semelhantes as obtidas no ensaio de tração.

1.2.4 Ensaio Mecânico de Compressão

É aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo de prova. A deformação linear obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo versus a carga de compressão consiste na resposta desse tipo de ensaio. Entre as principais preocupações que devem ser tomadas na realização do ensaio cita-se o dimensionamento do corpo de prova, que deve ter uma relação entre comprimento e seção transversal adequada. (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2000).

Segundo Hibbeler (2004) “embora muitas propriedades mecânicas importantes de um material possam ser determinadas por esse teste, ele é usado principalmente para determinar a relação entre a tensão e a deformação normal média”.

Para realizar o teste de compressão é feito corpos de prova, segundo Shackelford (2008, p. 122):

Os corpos de prova são preparados de modo que a área seção reta nessa região seja uniforme e menor que nas extremidades agarradas na máquina. Essa região de área menor, conhecida como comprimento útil, experimenta a maior concentração de tensão, de modo que qualquer deformação significativa em tensões está localizada lá.

Para Hibbeler (2004) o formato e tamanho dos corpos de prova devem estar dentro de uma normalização, mede-se então a área de seção transversal inicial do corpo de prova A_0 e o comprimento de referência L_0 . Com os dados do teste é possível calcular diversos valores de tensão e deformação para construir um gráfico com os resultados.

O diagrama Tensão-Deformação pode ser descrita de duas formas:

Diagrama Tensão-Deformação Convencional: Com os dados registrados, determinamos a **tensão de engenharia** definida como:

$$\sigma_{eng.} = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Onde P é a carga na amostra com uma área de seção reta original (A_0). A seção reta da amostra refere-se à região próxima à metade do comprimento do corpo de prova.

A **deformação de engenharia** é encontrada dividindo-se a variação no comprimento (ΔL), pelo comprimento inicial (L_0), nesse caso a deformação é considerada constante em toda região entre os pontos de calibragem, assim:

$$\epsilon_{eng.} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Se os valores correspondentes de σ e ϵ forem colocados em um gráfico, no qual a ordenada seja a tensão e a abscissa seja a deformação, a curva resultante será chamada de diagrama tensão-deformação convencional, como mostrado na Figura 1.

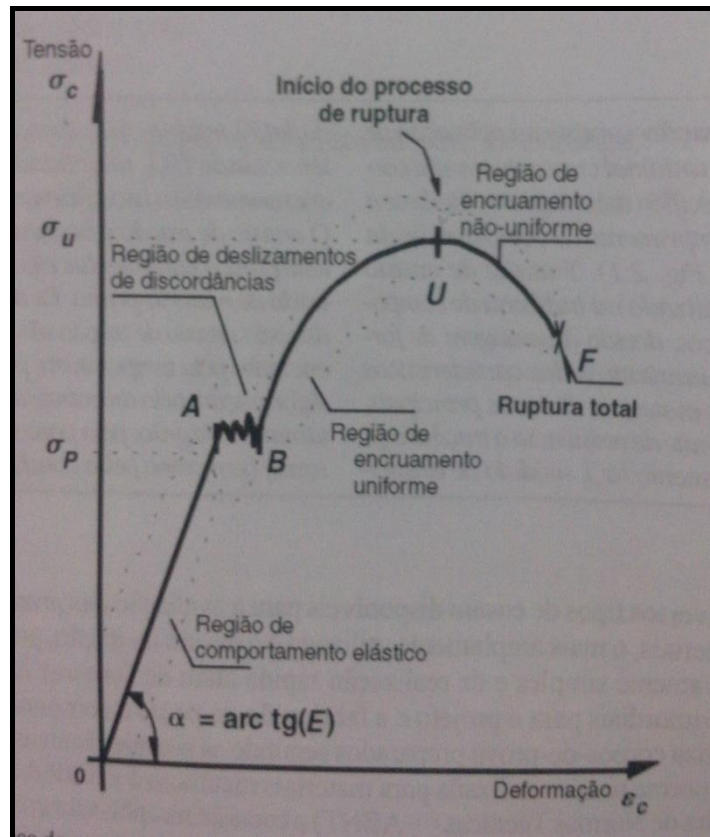


Figura 1: Curva Tensão-Deformação convencional
Fonte: (GARCIA; SPIN; SANTOS, 2000).

A Região OA é a região de comportamento elástico, AB- região de deslizamento de discordância, BU – região de encruamento uniforme, UF – região de encruamento não uniforme. O processo de ruptura tem início em U e é concluído ao final de F.

O comportamento elástico em (A) é chamado de **limite de proporcionalidade** (σ_p), segundo Hibbeler (2004) se a tensão excede ligeiramente o limite de proporcionalidade, o material ainda pode responder elasticamente, essa condição continua até que a tensão alcance o **limite de elasticidade**, representado um pouco antes do ponto(B), ao atingir esse ponto, se a carga for removida, o corpo de prova volta a sua forma original.

Para Shackelford (2008) a inclinação da curva tensão-deformação na região elástica é o **módulo de elasticidade** (E) também conhecido como módulo de Young. A linearidade do gráfico de tensão-deformação na região elástica é uma representação da Lei de Hook:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

O módulo E representa a rigidez do material, ou seja, sua resistência a deformação elástica, que se manifesta como a quantidade de deformação em uso normal abaixo da tensão de **limite de escoamento** (σ_E), representado na Figura 1 como sendo (B), e a elasticidade do material durante a moldagem. O limite de escoamento para Hibbeler, (2004):

Resulta em um colapso do material e faz com que ele se deforme permanentemente, uma vez atingido o limite de escoamento o corpo de prova continuará a alongar-se sem qualquer aumento da carga.

Para Garcia, Spim e Santos (2000) a partir do ponto B da Figura 1 o material entra na região plástica que é caracterizada pela presença de deformação permanente, para materiais de alta capacidade de deformação, o diagrama tensão-deformação apresenta variações relativamente pequenas na tensão, acompanhadas de grandes variações na deformação. Nessa região pode-se determinar uma série de características do material ensaiado, como:

Limite de resistência à tração (σ_u): Tensão correspondente ao ponto de máxima carga atingida durante o ensaio, igual à carga máxima dividida pela área inicial do corpo de prova.

Após o ponto (U), tem início a fase de ruptura, caracterizada por uma rápida redução local da seção de fratura (fenômeno da estrição).

Para Hibbeler (2004) estrição é provocada por planos de deslizamento formado no interior do material, e as deformações produzidas são provocadas por tensão de cisalhamento. Como resultado, tende a formar-se gradualmente uma estrição ou contração nessa região. Como a área da seção transversal nessa região está decrescendo continuamente, a área menor pode suportar apenas carga decrescente. Portanto o diagrama tensão-deformação tende a curvar-se para baixo até o corpo de prova quebre com a **tensão de ruptura (σ_f)**.

Alongamento (Δl): Diferença entre comprimento final (L) e o comprimento inicial (L_0) do corpo de prova.

Módulo de Resiliência (u_r): Quando a deformação atinge o limite de proporcionalidade, a densidade de energia de deformação, como calculada é denominada módulo de resiliência, isto é:

$$u_r = \frac{1}{2} \frac{\sigma_p^2}{E} \quad (4)$$

A resiliência de um material representa sua habilidade para absorver energia sem sofrer qualquer dano.

Módulo de Tenacidade: Essa grandeza indica a densidade de energia de deformação imediatamente antes da ruptura. Essa propriedade torna-se importante quando se projetam elementos que possam ser sobrecarregados acidentalmente. Materiais com módulo de tenacidade muito alto distorcem muito devido à sobrecarga, entretanto são preferíveis aos de baixo valor, uma vez que os materiais módulo de elasticidade baixo podem romper-se subitamente sem dar sinais de ruptura eminente.

Diagrama Tensão-Deformação Real: Em vez de utilizar a área da seção transversal inicial e o comprimento do corpo de prova para calcular a tensão e a deformação, poderíamos ter usado a área real da seção transversal e o comprimento do corpo de prova no instante em que a carga é medida. Os valores da tensão e da deformação calculados com essas medidas são chamados de tensão real e deformação real, e a construção gráfica de seus valores é chamada diagrama tensão-deformação real. Os diagramas convencional e verdadeiro são praticamente coincidentes quando a deformação é pequena. As diferenças entre os diagramas começam a aparecer na faixa de endurecimento por deformação, em que a intensidade da deformação torna-se mais significativa.

Para Garcia, Spim e Santos (2000, p.28) a curva tensão-deformação de engenharia (convencional), não apresenta uma informação real das características de tensão e deformação do material, por se basear inteiramente nas dimensões originais do corpo de prova, e que são frequentemente alterados durante o ensaio. Assim, são necessárias medidas de tensão e deformação que se baseiam nas dimensões instantâneas do ensaio. A Figura 2 mostra um esboço comparativo da curva tensão – deformação real e convencional.

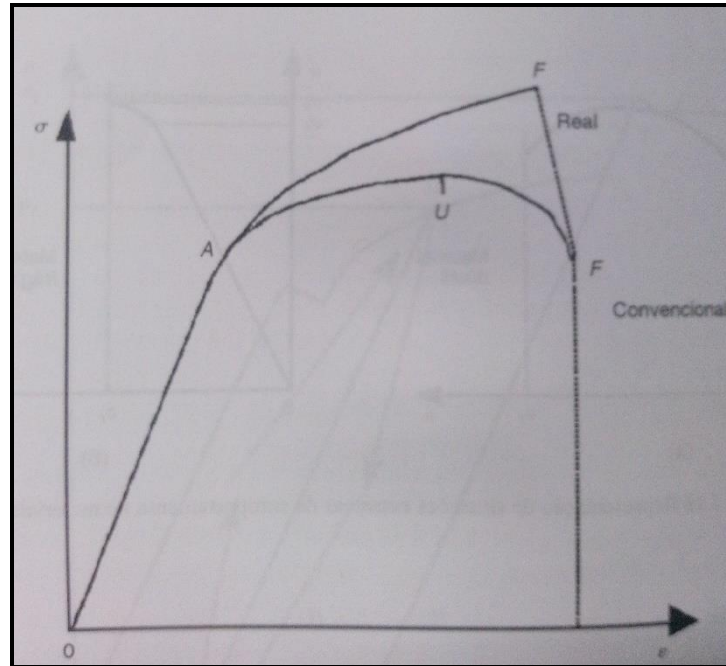


Figura 2: Representação esquemática da curva tensão-deformação real e de engenharia de uma material metálico
Fonte: (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2000).

Para determinar a **tensão real** (σ_{real}), divide-se a carga (P) pela área de seção transversal.

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Como nesse caso se avalia a variação da área em cada instante do ensaio, a região plástica fica mais bem caracterizada, já que não se toma mais a seção transversal inicial como referência, e a tensão cresce continuamente até a fratura.

A **deformação real** (ϵ_{real}) é dada como a variação infinitesimal da deformação, definida por:

$$\epsilon_{\text{real}} = \ln \frac{L}{L_0} \quad (6)$$

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Desbalanceamento é consequência de uma má distribuição de massa no eixo rotativo e um dos problemas mais comuns de máquinas rotativas, devido ao desbalanceamento existe aumento de vibração nessas máquinas o que pode ser prejudicial quando essa vibração ultrapassa certos limites. Para tentar ajudar nesse problema, iremos estudar as necessidades para construir uma base em granito sintético e assim tentar através do material obtido amortecer essa vibração.

Segundo Leonardi (2013) os efeitos em máquinas rotativas podem ser observados:

- Na vibração excessiva em uma máquina de lavar durante sua operação devido à distribuição assimétrica das roupas nos cestos;
- Vibração anormal em um ventilador residencial devido ao acúmulo de sujeira nas suas pás;
- Vibração em um automóvel devido ao acúmulo de barro nas suas rodas, perda de massa devido ao desgaste do pneu.

Quando o desbalanceamento ultrapassa certos limites, podem colocar em risco tanto a integridade dos equipamentos, quanto à segurança e a saúde das pessoas que estão próximas. (LEONARDI, 2013).

1.3.1 Causas do Desbalanceamento

O desbalanceamento é consequência de uma distribuição não uniforme de massa em torno do eixo de rotação, que pode ser ocasionado devido a diversos fatores, tais como:

- Porosidade do material do rotor;
- Densidade não uniforme do material do rotor;
- Tolerância de manufatura;
- Desgaste em pás de rotores que manipulam fluidos com partículas abrasivas;
- Acúmulo de sujeira, ou até mesmo gelo, em rotores ou partes rotativas;
- Presença de materiais intrusos em cavidades, como barro e água;
- Excentricidade devido a folgas em componentes mecânicos;

- Atividades de manutenção, tais como substituição de rolamentos;
- Desprendimento de partes rotativas devido à quebra;
- Distorções geométricas devido ao alívio de tensões ou as diferenças de temperatura.

Em muitos casos, para se corrigir o desbalanceamento, basta remover a fonte assimétrica (LEONARDI, 2013).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse tópico é abordado o desenvolvimento para a manufatura dos corpos de prova em granito sintético com 30%, 25% e 20% de resina epóxi.

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização deste trabalho utilizou-se materiais fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, composto por:

Silicone líquido, material dos moldes, da marca Moldflex, modelo Platsil 71-40 A, onde será chamado de componente A, mostrado na Figura 3, que deve ser complementado com o catalisador apresentado na Figura 4. O catalisador tem a propriedade de acelerar o processo de cura do silicone.

Segundo o fabricante o silicone é uma borracha líquida incolor e transparente de cura por poliadição, cuja proporção deve ser de 1A: 5B, produto utilizado para criar moldes para qualquer tipo de resina (poliuretano, poliéster, epóxi). A transparência é útil para criar moldes onde seja necessário visualizar o modelo, seu processo de cura é de um 24 horas.

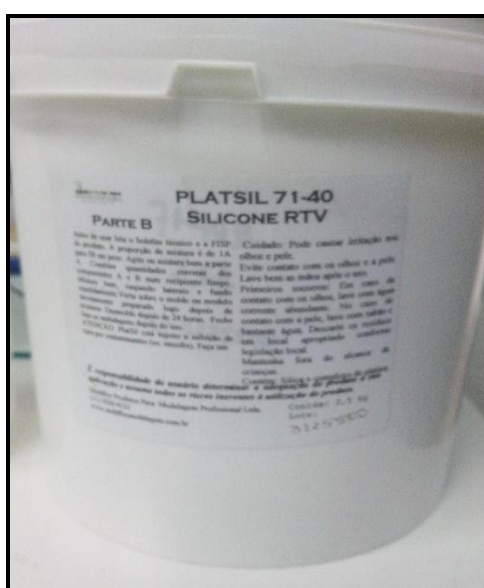


Figura 3: Silicone Líquido
Fonte: Autoria Própria.

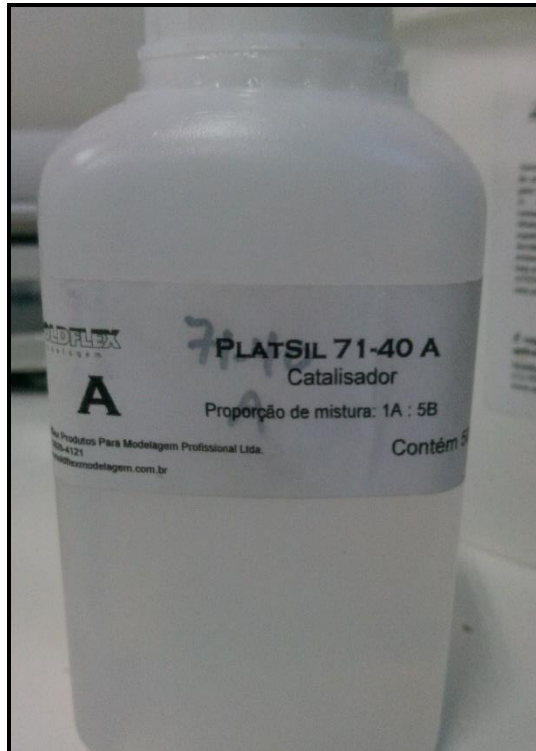


Figura 4: Catalizador
Fonte: Autoria Própria.

Utilizou-se Resina Epóxi, Figura 5, da marca Redelease modelo SQ2001 e 1:2 de endurecedor da mesma marca, modelo SQ 3154, Figura 6.

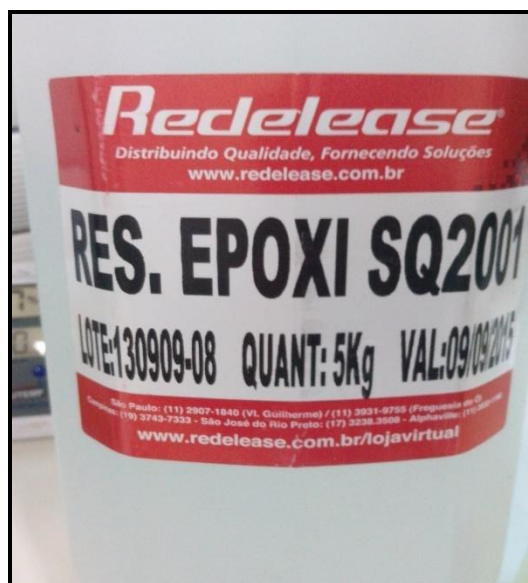


Figura 5: Resina Epóxi
Fonte: Autoria Própria.



Figura 6: Endurecedor SQ-3154
Fonte: Autoria Própria.

Utilizou-se granito natural (Figura 7), segundo Wrege (2000) para a manufatura do granito sintético deve-se utilizar três tamanhos de grãos, 60% em peso de granito de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) /ASTM n° 10 com 2.00 mm/ μ m denominado aqui de grãos grossos, 20% na ABNT/ASTM n°18 com abertura de 1.00 mm/ μ m, grãos médios, e 20% ABNT/ASTM n°30, pó com abertura de 600 mm/ μ m denominados de grãos finos.



Figura 7: Granito Natural
Fonte: Autoria Própria.

2.2 Metodologia

A metodologia adotada para a fabricação e ensaios do corpo de prova seguiu as seguintes etapas:

- 1 – Preparação do granito sintético;
- 2 – Preparação de sete corpos de prova com 30% de resina epóxi;
- 3 - Preparação de sete corpos de prova com 25% de resina epóxi;
- 4 - Preparação de sete corpos de prova com 20% de resina epóxi;
- 5 – Ensaio de Compressão;
- 6 – Análise dos Resultados.

Para um melhor entendimento, encontra-se abaixo a Figura 8, que simplifica todo o processo para construção dos corpos de prova, o mesmo processo poderá ser utilizado para a construção da base.

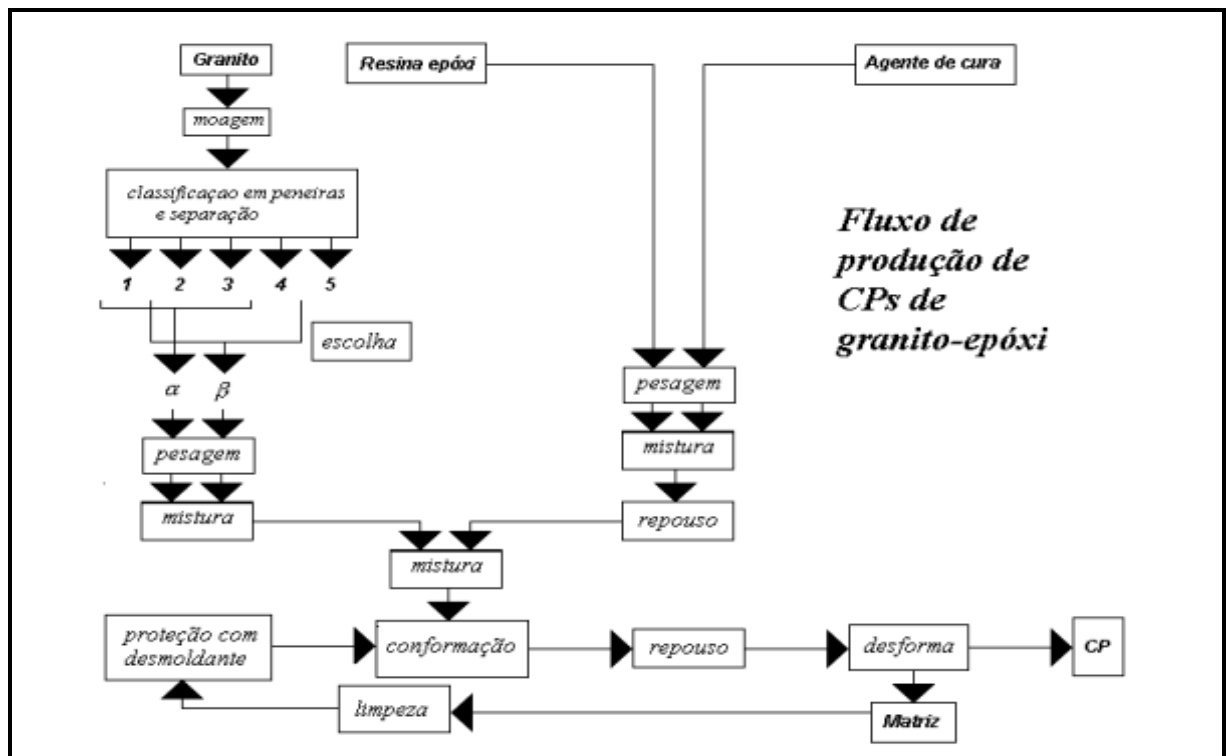


Figura 8 - Fluxo de produção de Corpo de Prova (CP) de granito-epóxi
Fonte: (ASSOCIAÇÃO..., 2010).

2.2.1 Corpos de prova Granito Sintético

Para a manufatura dos corpos de prova utilizou-se moldes em silicone que foram fornecidos pelo laboratório de materiais.

Para a construção granito sintético triturou-se e selecionou-se três tamanhos de grãos de granito natural classificados em grãos grossos com 2.00 mm/ μ m, grãos médios com 1.00 mm/ μ m e grãos finos, 600 mm/ μ m, como mostrado na Figura 9, para a seleção dos grãos utilizou-se peneiras de análise granulométrica, Figura 10, após a seleção pesou-se a quantidade de grãos como mostrado na Tabela 2, numa balança de precisão Shimadzu, modelo BL3200H com capacidade máxima de 610g, mínima de 0,5g e sensibilidade de 0,01g.



Figura 9: Grãos de granito triturado
Fonte: Autoria Própria.



Figura 10: Peneira de análise granulométrica com 2.00 mm/ μ m de abertura
Fonte: Autoria Própria.

Tabela 2: Valores de massa para cada tamanho de grão (30% de resina)

Componentes	Proporção (%)	Massa (g)
Grãos Grossos	60	30.22
Grãos médios	20	10.68
Grãos finos	20	10.2

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Paralelamente ao processo do granito, juntou-se 30% em peso de resina epóxi com o endurecedor e fez-se a pesagem, após esse processo misturou-se o granito natural com a resina epóxi, quantidade apresentada na Tabela 3:

Tabela 3: Valores em massa para a fabricação da resina epóxi (30% de resina)

Componentes	Proporção	Massa (g)
Resina Epóxi	1	15.8
Endurecedor	2	7.6

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Com a mistura pronta, o conteúdo foi despejado nos moldes, para retirar bolhas e possíveis imperfeições, o processo foi dividido em três etapas, primeiramente a mistura foi colocada em uma máquina de vácuo, uma Edwards modelo RV8, Figura 11, em seguida os corpos de provas foram colocados sob a base de um motor de indução monofásico, uma Kohlbach, modelo C56, Figura 12, por cerca de 5 min. Essa etapa é importante pois a vibração gerada pela rotação do motor ajuda a retirada de bolhas interiores, e para finalizar os corpos receberam um tratamento de cura de 9 horas a pressão de 2,5 Kgf/cm² em um vaso de pressão com capacidade de 15 Kgf/cm², Figura 13:



Figura 11: Máquina de Vácuo
Fonte: Autoria Própria.



Figura 12: Motor de indução monofásico
Fonte: Autoria Própria.



Figura 13: Máquina de Pressão
Fonte: Autoria Própria.

Após a cura o processo foi finalizado com a retirada dos corpos de prova da máquina de pressão e o desmolde das mesmas, Figura 14.

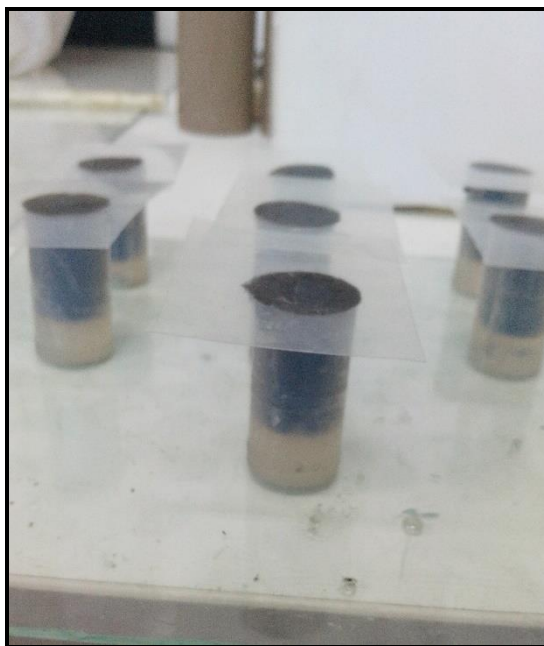


Figura 14: Moldes com tampa de plástico
Fonte: Autoria Própria.

Os corpos de prova apresentavam 30 mm de comprimento por 12,7 de diâmetro, segundo American...(1996), as amostras devem estar sob a forma de cilindro cujo o comprimento é duas vezes o diâmetro. Preferido tamanhos de amostras 12,7 por 12,7 por 50,8 milímetros ou 12,7 milímetros de diâmetro por 25,4 milímetros de comprimento. Para se alcançar as medidas certas de comprimento os corpos de prova foram usinados em um torno (Figura 15) a uma velocidade de 800 RPM, a usinagem é necessária também para manter a superfície dos corpos de prova plana, assim o travessão da máquina de compressão conseguirá manter a carga uniforme por toda a superfície, dando melhores resultados.

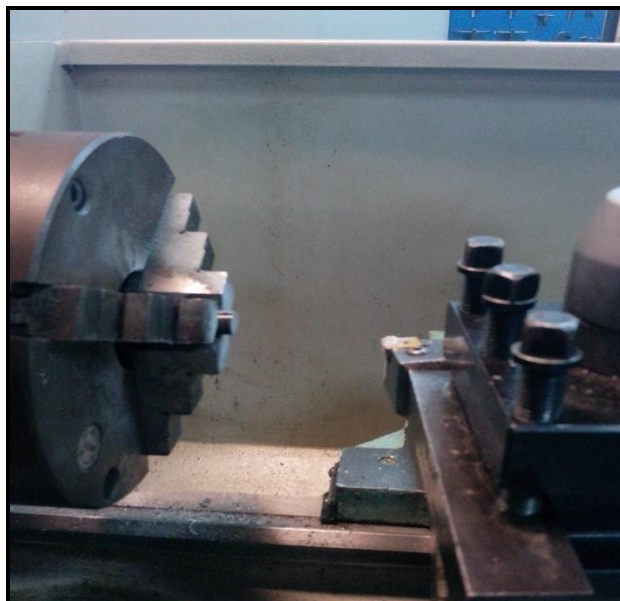


Figura 15: Torno Mecânico
Fonte: Autoria Própria.

Para comparação dos resultados mais sete corpos de provas com 25% de resina epóxi foram preparados com as quantidades de granito especificado na Tabela 4, totalizando 50g de granito e a quantidade de resina epóxi especificado na Tabela 5, lembrando que exatamente o mesmo processo anterior foi efetuado para os novos corpos de prova.

Tabela 4: Valores de massa para cada tamanho de grão (25% de resina)

Componentes	Proporção (%)	Massa (g)
Grãos Grossos	60	30.62
Grãos médios	20	10.13
Grãos finos	20	10.16

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Tabela 5: Valores em massa para a fabricação da resina epóxi (25% de resina)

Componentes	Proporção	Massa (g)
Resina Epóxi	1	13.09
Endurecedor	2	7.97

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Após finalizado os corpos de 25%, outros sete corpos de prova com 20% de resina epóxi foram preparados com as quantidades de granito especificado na Tabela 6 e a quantidade de resina epóxi especificado na Tabela 7:

Tabela 6: Valores de massa para cada tamanho de grão. (20% de resina)

Componentes	Proporção (%)	Massa (g)
Grãos Grossos	60	30.16
Grãos médios	20	10.18
Grãos finos	20	10.26

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Tabela 7: Valores em massa para a fabricação da Resina Epóxi. (20% de resina)

Componentes	Proporção	Massa (g)
Resina Epóxi	1	9.99
Endurecedor	2	5.48

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

3 RESULTADOS

Foi utilizada a norma ASTM D-638 (AMERICAN..., 1996) que especifica condições necessárias para o ensaio. Segundo a norma a velocidade deve ser de 5 mm/min., a temperatura ambiente também deve ser controlada e os dados como hora, temperatura, umidade devem ser especificados (Apêndice A).

Os testes foram feitos no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio. O equipamento utilizado para a compressão foi um Time Group, modelo WDW software, Figura 16:



Figura 16: Máquina de ensaios Time Group, modelo WDW-100
Fonte: Autoria Própria.

Após a realização dos ensaios, os dados obtidos foram analisados através do Excel 2013, onde foi possível a construção dos gráficos tensão-deformação convencional ou de engenharia e dos gráficos tensão-deformação real para cada grupo de corpos de prova, apresentados abaixo:

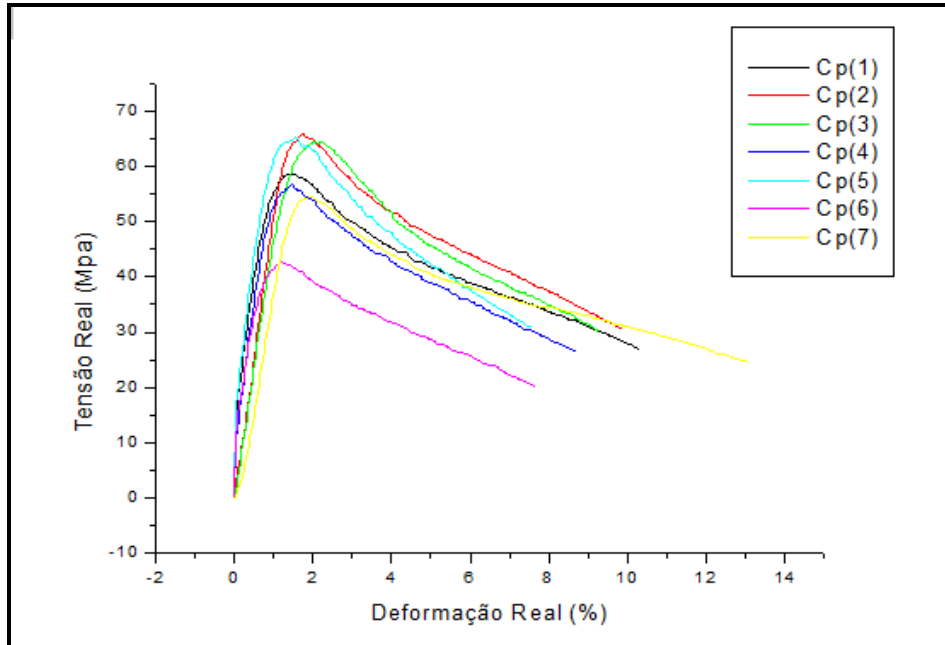


Figura 17: Gráfico Tensão-Deformação Real do Granito sintético 30% de resina-epóxi
Fonte: Autoria Própria.

Através de cálculos computacionais e análise do gráfico, o granito com 30% de resina epóxi, Figura 17, apresentou uma tensão real máxima de 58.3 MPa, deformação real máxima de 9.5% e módulo de elasticidade de 4.8 GPa. Cada uma das propriedades apresentadas foram obtidas fazendo-se a média dos sete corpos de prova, a mesma média foi feita para todos os gráficos obtidos.

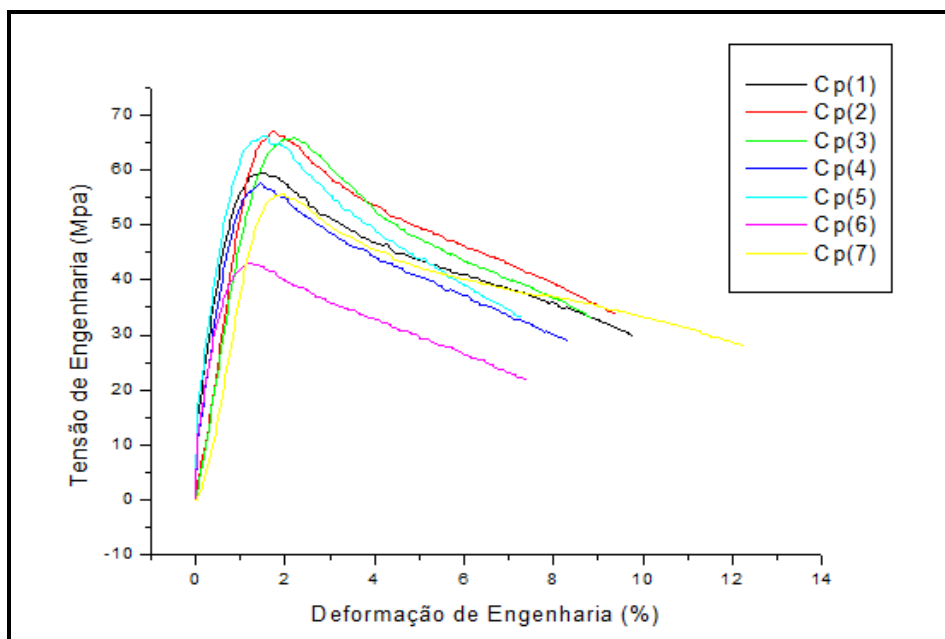


Figura 18: Gráfico Tensão-Deformação de Engenharia do Granito sintético 30% de resina-epóxi
Fonte: Autoria Própria.

O granito com 30% de resina epóxi, Figura 18, apresentou uma tensão de engenharia máxima de 59.3 MPa, deformação de engenharia máxima de 9.4% e módulo de elasticidade de 5.2 GPa.

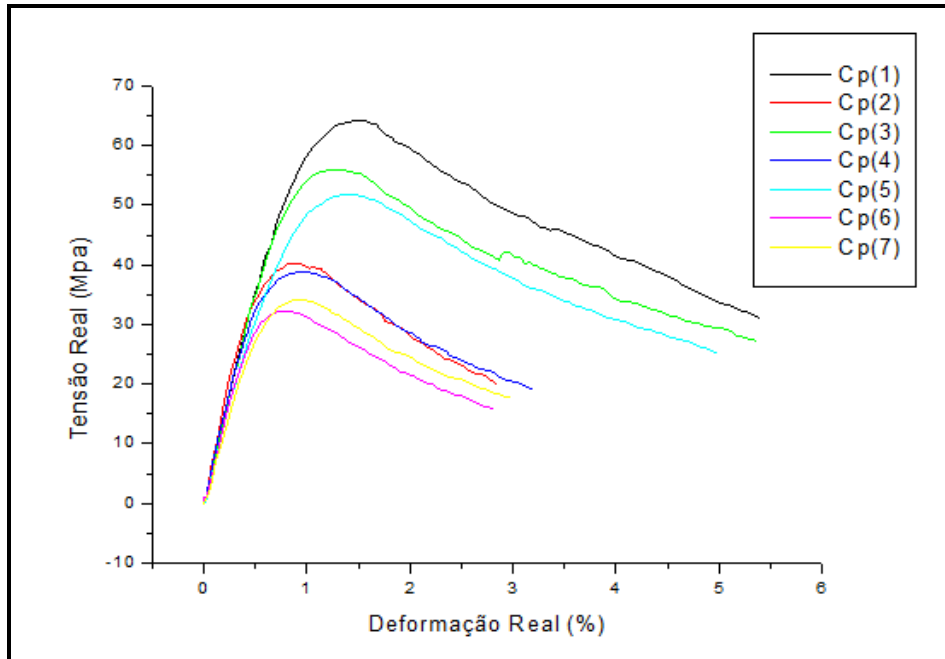


Figura 19: Gráfico Tensão-Deformação Real do Granito sintético 25% de resina-epóxi
Fonte: Autoria Própria.

O granito com 25% de resina epóxi, Figura 19, apresentou uma tensão real máxima de 45.4 MPa, deformação real máxima de 3.8% e módulo de elasticidade de 6.6 GPa.

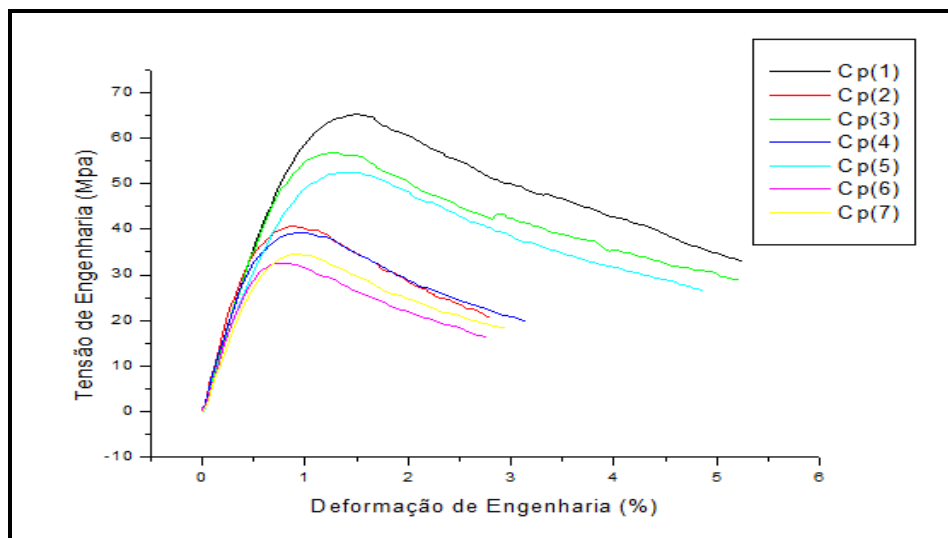


Figura 20: Gráfico Tensão-Deformação de Engenharia do Granito sintético 25% de resina-epóxi
Fonte: Autoria Própria.

O granito com 25% de resina epóxi, Figura 20, apresentou uma tensão de engenharia máxima de 47.2 MPa, deformação de engenharia máxima de 3.9% e módulo de elasticidade de 6.6 GPa.

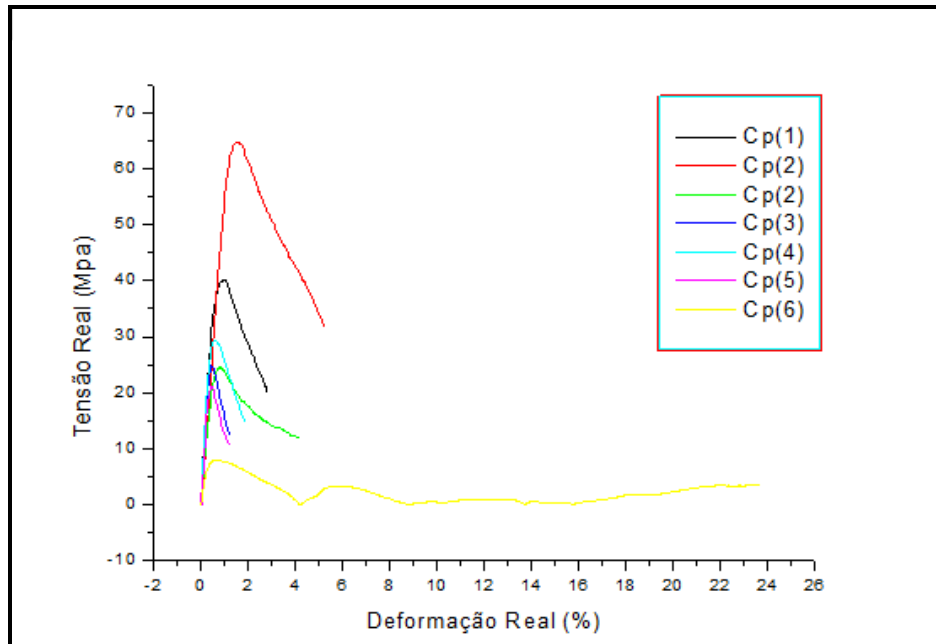


Figura 21: Gráfico Tensão-Deformação Real do Granito sintético 20% de resina-epóxi
Fonte: Autoria Própria.

O granito com 20% de resina epóxi, Figura 21, apresentou uma tensão real máxima de 30.4 MPa, deformação real máxima de 5.8% e módulo de elasticidade de 5.7 GPa.

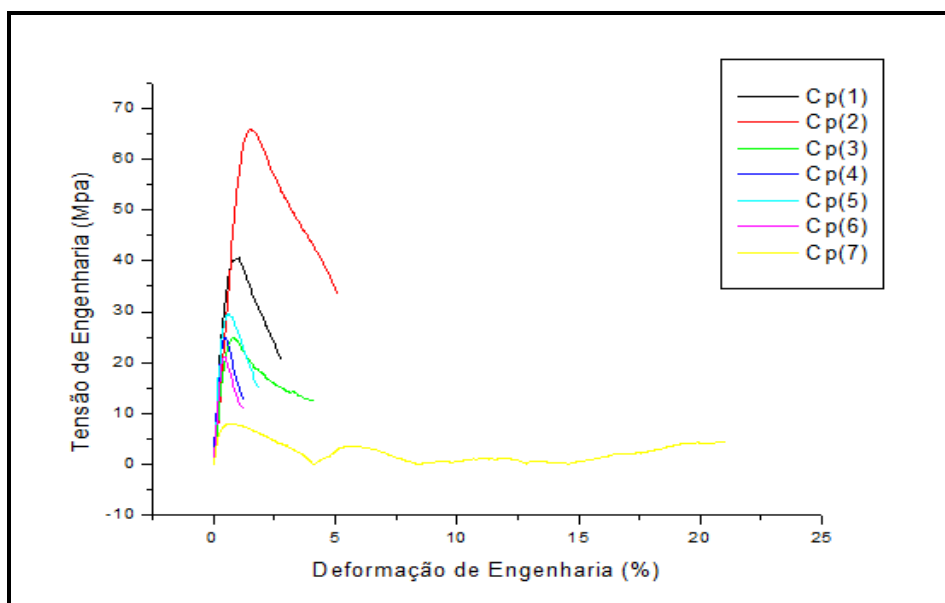


Figura 22: Gráfico Tensão-Deformação de Engenharia do Granito sintético 20% de resina epóxi.
Fonte: Autoria Própria.

O granito com 20% de resina epóxi, Figura 22, apresentou uma tensão de engenharia máxima de 44.6 MPa, deformação de engenharia máxima de 5.7% e módulo de elasticidade de 5.7 GPa.

Assim tem-se a Tabela 8 e Tabela 9, onde são um resumo de todos os resultados obtidos para os gráficos tensão-deformação de engenharia apresentados anteriormente:

Tabela 8: Resultados gráficos tensão-deformação de engenharia.

Propriedades	30%	25%	20%
Resistência a Compressão	59.3 MPa	47.2 MPa	44.6 MPa
Deformação	9.4 %	3.9 %	5.4 %
Módulo de Elasticidade	5.2 GPa	6.6 GPa	5.7 GPa

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Para os gráficos de tensão-deformação real, tem-se:

Tabela 9: Resultados gráficos tensão-deformação real.

Propriedades	30%	25%	20%
Resistência a Compressão	58.3 MPa	45.4 MPa	30.4 MPa
Deformação	9.5 %	3.8 %	5.8 %
Módulo de Elasticidade	4.8 GPa	6.6 GPa	5.7 GPa

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

Em relação aos gráficos acredita-se que a diferença de tensão-deformação para cada corpo de prova se deu devido a variações externas e internas como, temperatura, umidade, empacotamento dos grãos, esses fatores tem influências nos resultados e devido a isso a tensão-deformação dos corpos de prova apresentaram-se com uma certa diferença.

4 CONCLUSÃO

Considerando os gráficos construídos, os erros para valores de engenharia de tensão e deformação é cerca de 0,98% quando comparado com os valores reais, devido a essa razão foi comparado os diagramas tensão-deformação convencionais.

Dentre os três valores de resinas comparados o granito com 30% de resina apresentou ser mais dúctil por aguentar uma deformação de 9.4 % e um melhor limite de resistência a compressão de 59.3 MPa, devido a esses dados o granito com 30% é mais viável para projetos por ser capaz de absorver choque ou energia, quando sobrecarregado, exibindo maior deformação antes de falhar.

Em relação a deformação elástica o granito com 25% apresentou ser mais resistente por apresentar um módulo de elasticidade de 6.6 GPa. Quando comparado com o granito natural o compósito granito-epóxi evidenciou ser frágil, pois segundo Matweb...(2014) a resistência a compressão do granito natural é de 95MPa.

Diante dos fatos pode-se constatar que houve um causador de tensão entre grãos, pois quanto mais compacto os grãos menor o campo de fragilidade, em relação a construção dos corpos de prova, ficou evidente que o processo de fabricação é importante para melhorar os resultados, mesmo com algumas dificuldades para se chegar no melhor resultado, todos os objetivos do trabalho foram alcançados.

Fica para trabalhos futuros fazer análise de torção, construção da base, e se possível, um estudo sobre a granulometria do material, para tentar melhorar a resistência do granito sintético.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D638-96**: stand test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken, 1996.

FILHO, A. P.; NETO, F. L. Comportamento de vigas de compósitos granito-epóxi submetidas a vibrações mecânicas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECANICA, 6, 2010, Brasília. **Anais...** Brasília: ABCM, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/conem/2010/PDF/CON10-0345.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2014.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. dos. **Ensaaios dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GLANVILL, A. B. **Princípios básicos e projetos**: moldes de injeção. 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1994.

HIBBELER, B. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

JESUS, M. S. **Desenvolvimento de um compósito polímero-metal á base de resina epóxi para aplicações em moldes rápidos**. 2005. 92 f. Dissertação – Universidade Federal do Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LEONARDI, D. M. **Elaboração e construção de uma bancada didática para estudo e treinamento em análise de vibrações e desbalanceamento**. 2013. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2013.

MOREIRAS, S.T.F. (2005). **Estudo sobre o revestimento de fachadas de edifícios altos com granitos ornamentais**. Dissertação – Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MATWEB MATERIAL PROPERTY DATA. **Granite**. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3d4056a86e79481cb6a80c89caae1d90&ckck=1>>. Acesso em: 27 nov. 2014.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. N. **Manutenção**: função estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

RIBEIRO, F. M.; PURQUERIO, B. M. **Granito Sintético para estruturas de equipamentos de precisão de pequeno porte**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 15., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCM, 1999. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/cobem/1999/pdf/AAAGJJ.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education, 2008.

TAGUTI, M. V. H. **Ensaio mecânico de tração da poliuretana derivada do óleo de mamona adicionada com carbonato de cálcio**. 2012. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2012.

WREGGE, P. A. S. **Metodologia para a obtenção de esferas de cerâmica para próteses de quadril**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

APÊNDICE A - Informações para construção dos corpos de prova

Informações para construção dos corpos de prova

Este apêndice contém os dados para a produção dos corpos de prova, conforme a norma estabelece, contendo horário, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, entre outros.

Tabela: Dados referente a preparação dos corpos de prova.

CP	Data	Horário	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Resina Epóxi (%)	Pressão (Kgf/ cm²)	Velocidade de ensaio (mm/min)
1	19/11/2014	13:00	30	52	30	2.5	5
2	19/11/2014	13:00	30	52	30	2.5	5
3	19/11/2014	13:00	30	52	30	2.5	5
4	19/11/2014	13:00	30	52	30	2.5	5
5	19/11/2014	13:00	30	52	30	2.5	5
6	19/11/2014	13:00	30	52	30	2.5	5
7	19/11/2014	13:40	30	52	30	2.5	5
8	25/11/2014	15:00	27	52	25	2.5	5
9	25/11/2014	15:00	27	47	25	2.5	5
10	25/11/2014	15:00	27	47	25	2.5	5
11	25/11/2014	15:00	27	47	25	2.5	5
12	25/11/2014	15:00	27	47	25	2.5	5
13	25/11/2014	15:00	27	47	25	2.5	5
14	25/11/2014	15:00	27	47	25	2.5	5
15	25/11/2014	15:00	27	47	20	2.5	5
16	25/11/2014	15:00	27	47	20	2.5	5
17	25/11/2014	15:00	27	47	20	2.5	5
18	25/11/2014	15:00	27	47	20	2.5	5
19	25/11/2014	15:00	27	47	20	2.5	5
20	25/11/2014	15:00	27	47	20	2.5	5
21	25/11/2014	16:30	27	47	20	2.5	5

Fonte: Adaptação de Taguti (2012).

