

PROJETO MECÂNICO (SEM 0347)

Notas de Aulas v.2020

Aula 05 – Estrutura de Máquinas – Granito Sintético

Professores: Carlos Alberto Fortulan
Benedito de Moraes Purquerio

Colaborador: João F. P. Lovo

Máquina

A máquina é um dispositivo que ajuda a tornar a execução de um trabalho mais fácil por realizar uma ou mais das seguintes funções:

- ✓ transferir uma força de um lugar para outro;
- ✓ mudar a direção de uma força;
- ✓ aumento da magnitude de uma força;
- ✓ aumento da distância de ação de uma força; ou
- ✓ aumento da velocidade de uma força.

Considerações importantes no projeto de Máquinas

1. Tipo de **Carga** e **Tensões** causadas pelo carregamento

- Cargas mortas
 - Cargas vivas
 - Carregamento estático
 - Carregamento dinâmico
 - Choques (eventuais)
 - Impactos (velocidade de aplicação)
- Tensões normais (tração, compressiva) e de cisalhamento
 - Tensões de torção
 - Tensões de flexão
 - Tensões térmicas

2. **CINEMATICA** da máquina (movimento dos componentes)

- Encontrar uma disposição mais simples que ofereça mais eficiência ao movimento necessário.

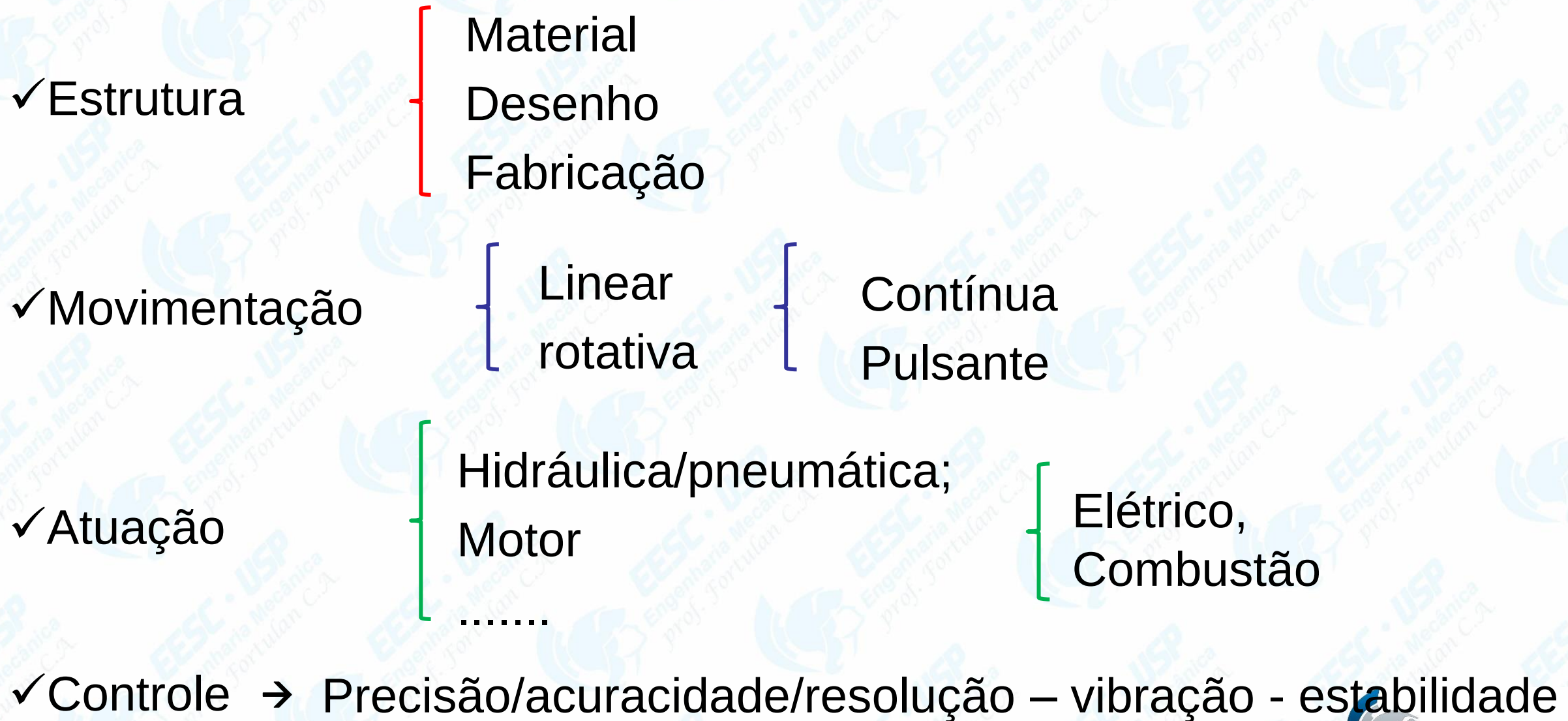
3. Seleção dos **MATERIAIS**

- É necessário um conhecimento das propriedades dos materiais e do seu comportamento em condições de trabalho.
- Resistência, dureza, durabilidade, flexibilidade, peso, resistência ao calor e à corrosão, a condutividade elétrica, usinabilidade, etc

4. DESENHO E DIMENSÃO dos componentes

As dimensões serão determinadas pela aplicação de forças/torque nos componentes/material de tal forma que uma falha (ruptura ou deformação excessiva) não ocorra.

Constituintes de uma máquina



ESTRUTURA - função

- ✓ receber esforços; {
 - Rigidez;
 - Resistência.
- ✓ Recebe e conduz calor {
 - Expansão térmica;
 - Condutividade.
- ✓ Localiza e posiciona componentes;
- ✓ Recebe e amortece as vibrações (Damping);
- ✓ Design {
 - Funcional;
 - Ergonômico;
 - Estético.



Rigidez estática e rigidez dinâmica

Em um projeto mecânico a rigidez, muitas vezes, é mais importante que a capacidade de carga.

Rigidez estática,

Deformação sob cargas estáticas:

Peso das partes móveis;
Peso da peça obra;
Forças de corte

Rigidez dinâmica,

Comportamento sob ação de cargas inerciais e vibrações

Desenho

- ✓ Resistência → maior e mais leve → maior momento de inércia;
- ✓ Rigidez → maior e mais leve → maior momento de inércia;
- ✓ Peso → mais leve;
- ✓ Dissipação de calor e compensação da distorção;
- ✓ Acomodação dos componentes;

Desenho

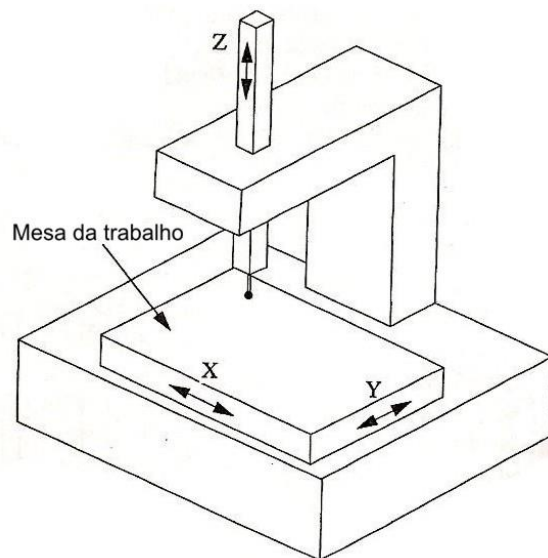


Figura 3.3 – Estrutura em “L” (SLOCUM, 1992).

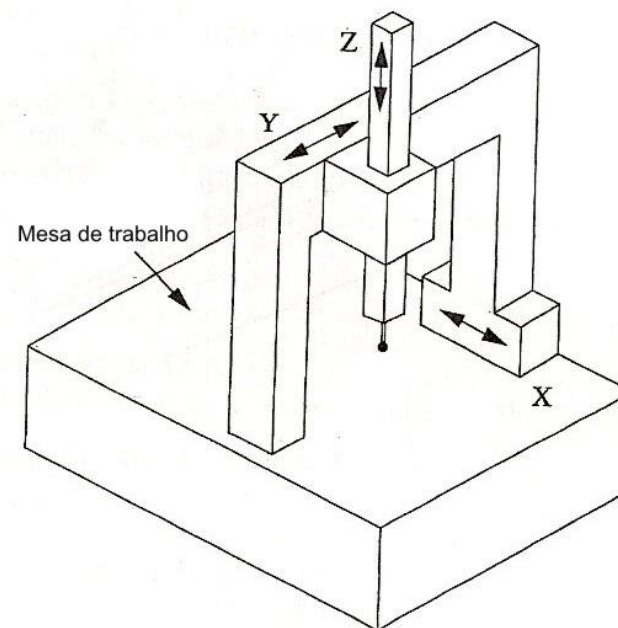
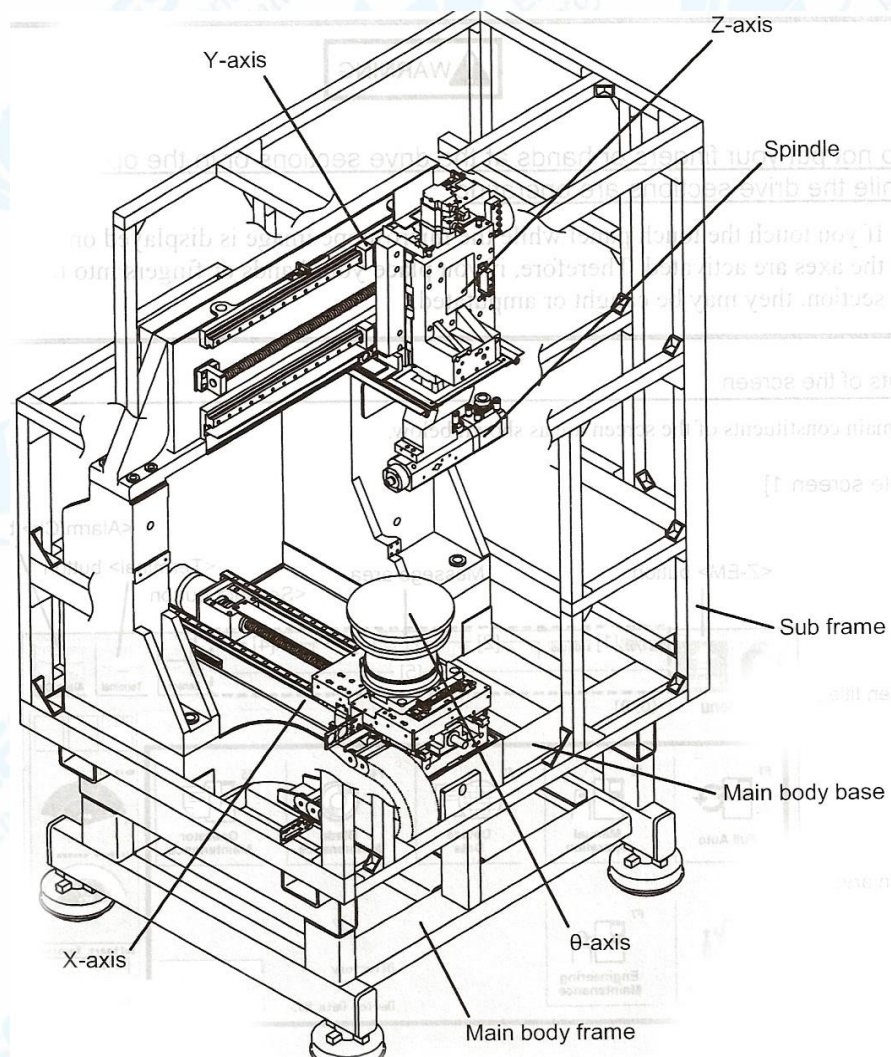


Figura 3.4 – Estrutura tipo Ponte (SLOCUM, 1992)



DAD 3350 da DISCO CORPORATION (OPERATION MANUAL, 2007)

ESTRUTURA – material

Na fase conceitual, uma estrutura baseada no material deve ser decidida.
A principais classes de estrutura são:

- ✓ Estrutura em ferro fundido;
- ✓ Estrutura Soldadas;
- ✓ Estrutura em Granito sintético;
- ✓ Estrutura em Concreto;
- ✓ Estrutura em Compósitos (filamento);
- ✓ Estrutura parafusada (Perfil modular);
- ✓ Estrutura impressa em 3D.

Materiais para estrutura

	σ_{RT} tração MPa	σ_{RT} compr. MPa	σ_e MPa	E GPa	ρ g/cm ³	H Brinell	H vickers	α X 10 ⁻⁶ 0-100 °C	K _{IC} MPa.m ^{1/2}	K W/m-K
Ferro fundido cinzento, classe 20	152	572		66-97	7,15	156	161			
Ferro fundido cinzento, ASTM A48 classe 40	276	134			7,15	183 - 234	246			
Ferro fundido dúctil (nodular) – Classe A	414		310			190	199			
Fofo nodular ASTM A897 grade 1	965	1380	758	163	7,1	302		14,6	109	22,1
AISI 1020 - laminado	450		330	200	7,87	143	179	11,7		51,9
AISI 1045 – laminado a quente	565		310	200	7,87	163	170	11,2		51,9
Alumínio 6063-T5	186		145	68,9	2,7	60	70	23,4		209
Granito Sintético*	27	103	26	36	2,1	75~300		14		1,2

Fonte: www.matweb.com; * Lovo et al. (2017) Synthetic granite composite for precision equipment structures

PROJETO MECÂNICO (SEM 0241) – PURQUERIO BM; FORTULAN CA (2020)

Materiais para estrutura

	Usinabilidade	Soldabilidade	Observações
Ferro fundido cinzento, classe 20	Fácil	Difícil	
Ferro fundido cinzento, ASTM A48 classe 40	Fácil	Difícil	
Ferro fundido dúctil (nodular) – Classe A			
Fofo nodular ASTM A897 grade 1			
AISI 1020 - laminado	Fácil	Fácil	Após o corte ao maçarico não tempera ao ar
AISI 1045 – laminado a quente	Fácil	Fácil	Após o corte ao maçarico tempera ao ar dificultado subsequentes usinagens.
Alumínio 6063-T5	Fácil	Média	
Granito Sintético	Difícil	-----	

Fonte: www.matweb.com

- Ultra High Strength Steel
- Extra High Strength Steel
- Very High Strength Steel
- High Strength Steel
- Mild Steel / Forming Grades
- Aluminium
- Magnesium



Estrutura em **Ferro Fundido**

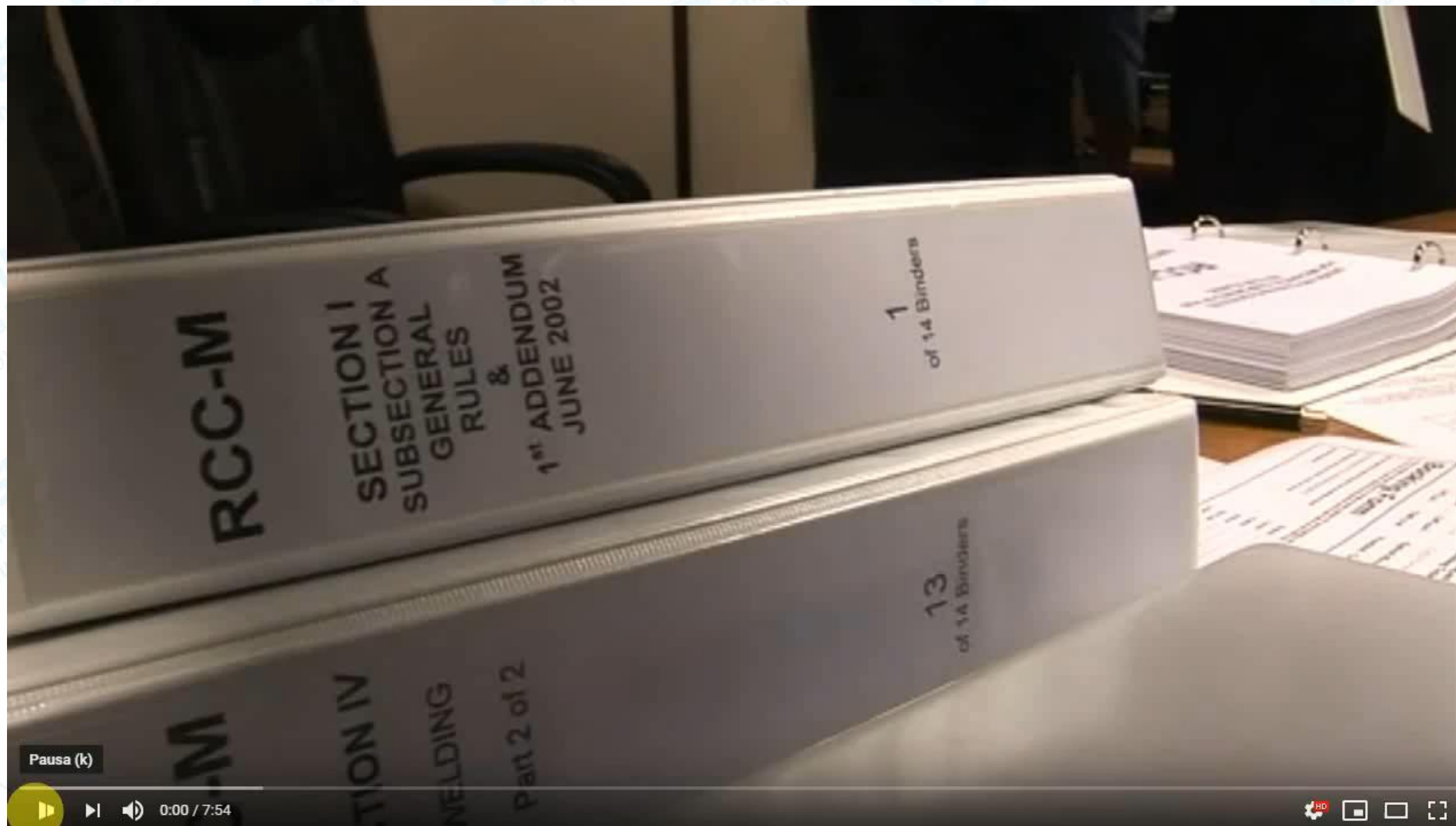
As boas propriedades gerais dos ferros fundidos e a facilidade de fundição de peças fizeram do ferro fundido a base da Indústria de Máquinas Ferramentas.



<http://www.iron-casting-chengfeng.com/machine-base-casting.htm>



http://www.taiwantrade.com.tw/EP/selica/products-detail/en_US/867733/CNC_Slant_Bed_Lathe/



Vantagens:

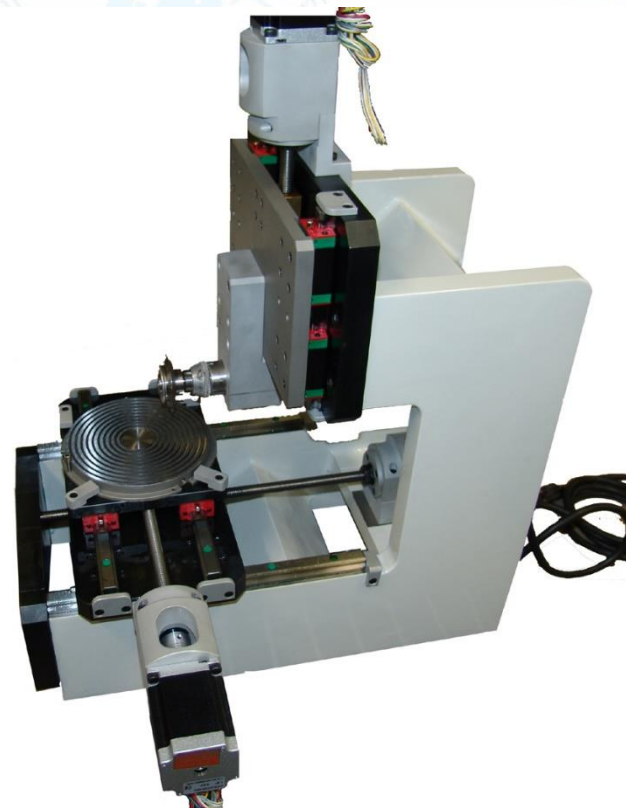
- ✓ Conformação;
- ✓ Custo;
- ✓ Grandes dimensões;
- ✓ Atrito;
- ✓ Amortecimento,

Desvantagens

- ✓ Densidade;
- ✓ Ângulo de saída → peso;
- ✓ Molde;
- ✓ Resistência Mecânica (cinzento);
- ✓ Baixa soldabilidade;
- ✓ Usinabilidade (nodular);
- ✓ Baixa resist. Fadiga

Estrutura Soldadas

Fabricação sem grande investimentos de infra estrutura e equipamentos com possibilidade de montagem parcial ou total em campo.



Araujo LAO (2009) . Projeto e desenvolvimento de uma mini máquina para fatiamento de substratos cerâmicos. Dissertação Mestrado

PROJETO MECÂNICO (SEM 0241) – PURQUERIO BM; FORTULAN CA (2020)

Vantagens:

- ✓ Baixo investimento;
- ✓ Custo;
- ✓ Rigidez;
- ✓ Alta resistência mecânica;
- ✓ Usinabilidade;
- ✓ Alterações;
- ✓ Estabilidade

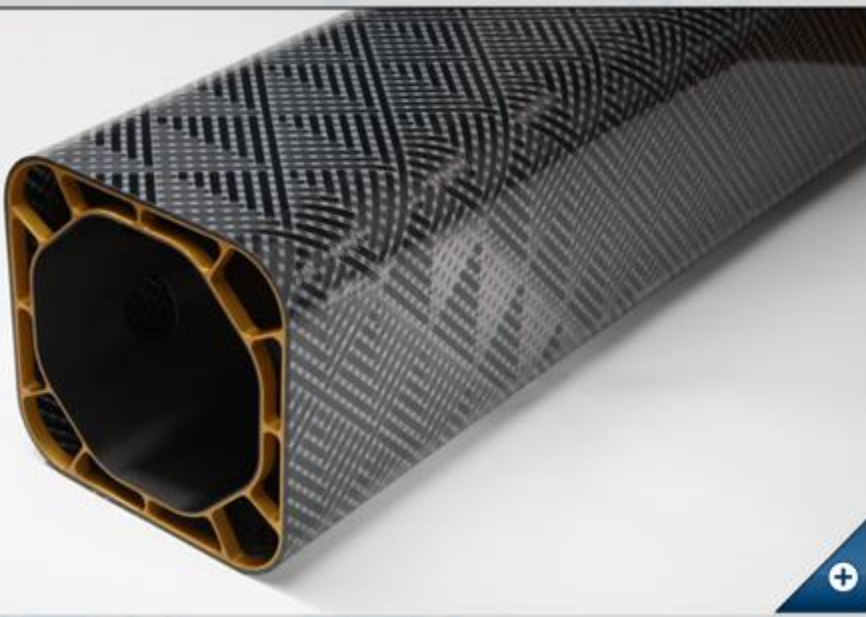
Desvantagens:

- ✓ Distorção geométrica e dimensional;
- ✓ Sensitização;
- ✓ Acesso;
- ✓ Operador;
- ✓ Juntas soldadas → falhas

Estrutura Compósitas

Vantagens

- ✓ Baixo peso;
- ✓ Resistência mecânica;
- ✓ Rigidez;
- ✓ Desenho e Estética



Desvantagens

- ✓ Manufatura complexa;
- ✓ Difícil automação;
- ✓ Necessidade de juntas;
- ✓ Anisotropia;
- ✓ Ambiental.



<http://g01.a.alicdn.com/kf/HTB12dNKKXXXXXa0XXXXq6xXFXXX1/Qav280-100-fibra-de-carbono-através-da-estrutura-da-máquina-de-carbono-leve-128-g-FPV.jpg>

Estrutura parafusadas – perfil modular

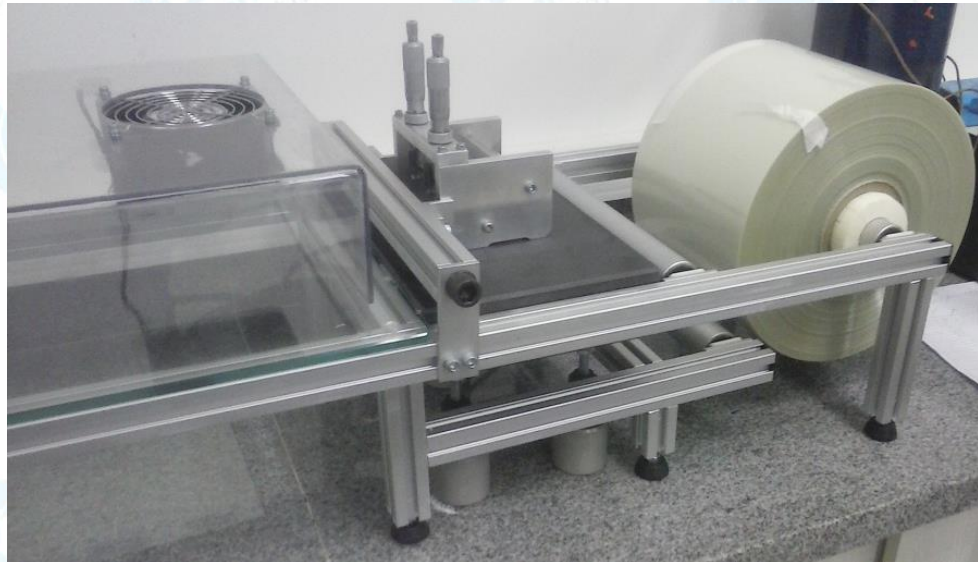
Atualmente em uso crescente

Vantagens:

- ✓ Rapidez de montagem;
- ✓ Baixo investimento;
- ✓ Custo;
- ✓ Padronização de partes
- ✓ Acabamento
- ✓ Alterações;

Desvantagens

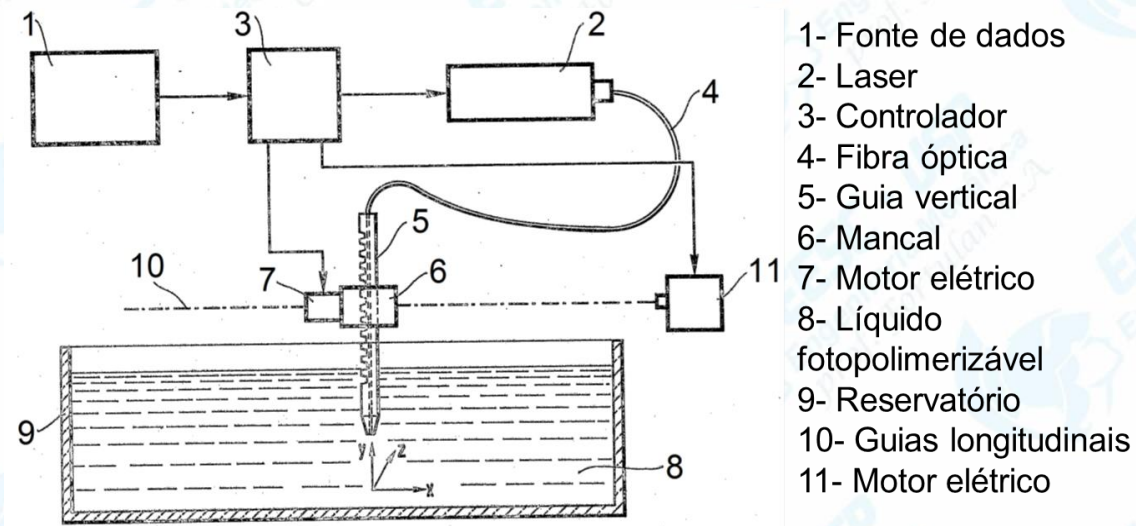
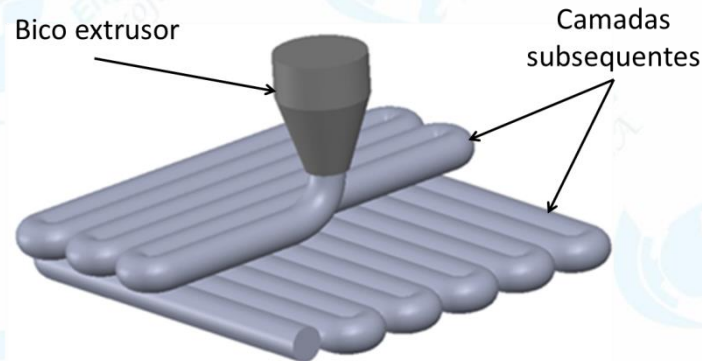
- ✓ Baixa rigidez;
- ✓ Baixa resistência Mecânica
- ✓ Visual;
- ✓ NR12.



Futuro

Estruturas Impressas em 3D

Manufatura Aditiva é o processo de fabricação por adição de material pelo qual um produto pode ser diretamente fabricado a partir de um modelo 3D computacional, e tal técnica de fabricação possibilita a produção com geometrias complexas.

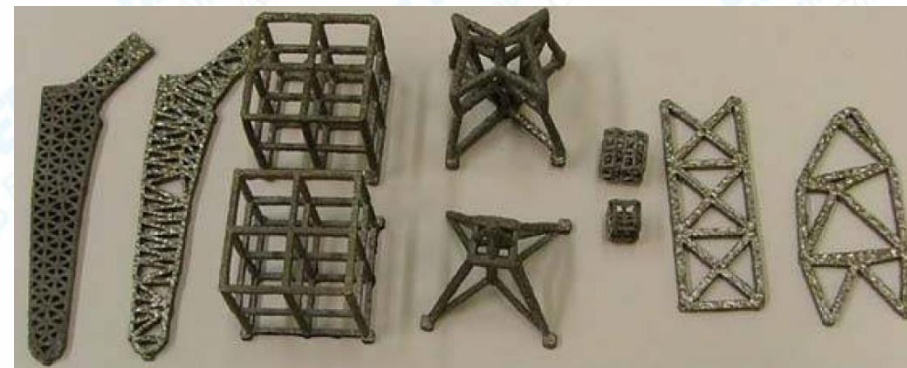
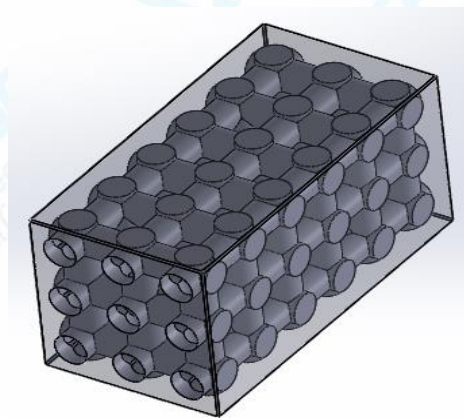


Adaptado de MEHUATÉ, ANDRÉ e WITTE (1984)

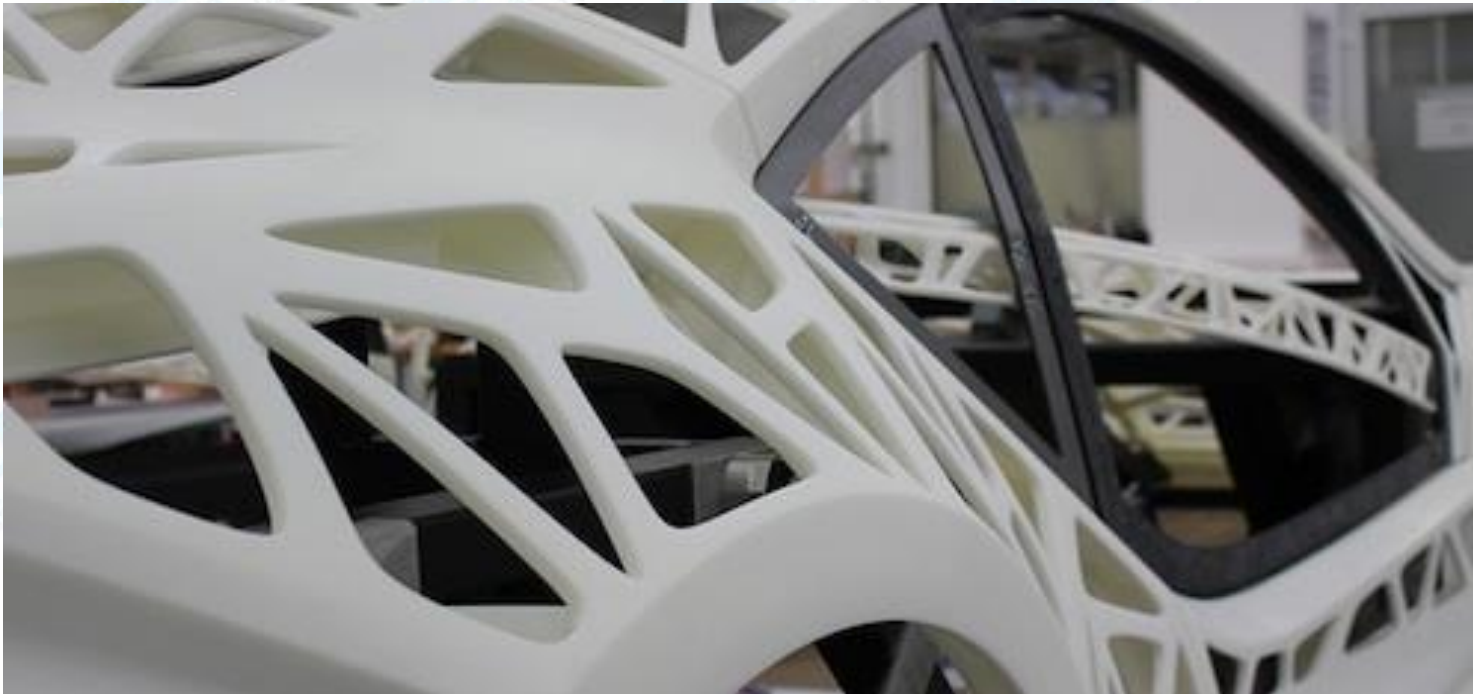
Estruturas Impressas em 3D

Principais vantagens:

- ✓ Material otimizado para as direções principais;
- ✓ Geometrias impossíveis com outras técnicas ;
- ✓ Facilidade de fabricação;
- ✓ Leveza estrutural;
- ✓ Menor desperdício;
- ✓ Menor gastos com transporte e novas possibilidades de logística.



<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/veja-o-material-mais-leve-do-mundo-formado-por-99-99-de-ar>



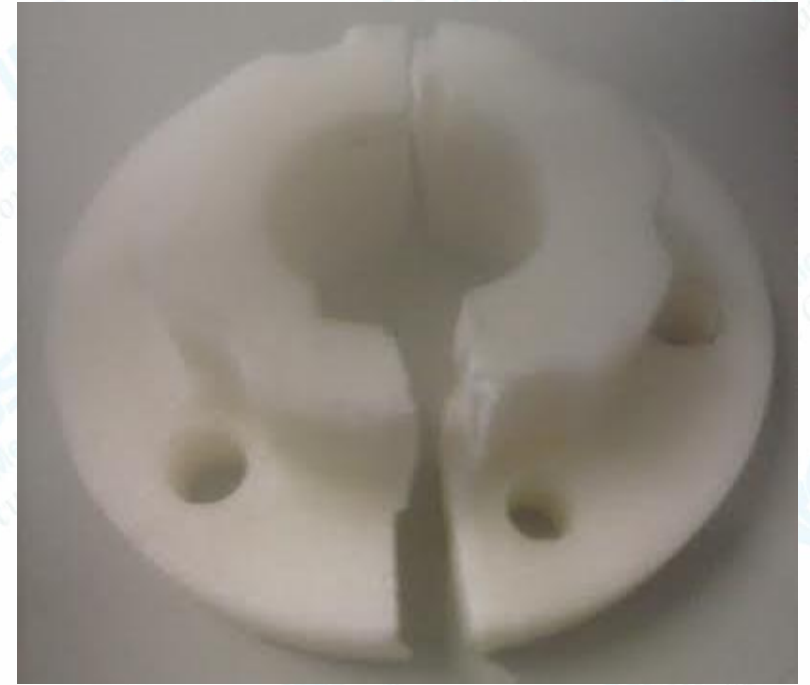
<http://www.rapidreadytech.com/2015/06/edags-light-cocoon-is-a-metamorphosis-for-car-design/>

https://www.youtube.com/watch?v=yM3_ajyWo4Q&feature=youtu.be

Estruturas Impressas em 3D

Limitações atuais:

- ✓ Dimensão;
- ✓ Custo x Resistência mecânica;
- ✓ Acabamento superficial;
- ✓ Custos;
- ✓ Velocidades de impressão.



Generative Design (Design generativo)



Autodesk

“O presente com cara de futuro”
“ Fator de forma perfeito”

Possível, hoje, graças: materiais, fabricação (3D), análise (FE)

Programa computacional que executa um processo iterativo na geração de certo número de saídas que atendem a determinadas restrições

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

B. de M. Purquerio

Engenheiro Mecânico, M. Sc., Ph. D.

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO
SINTÉTICO

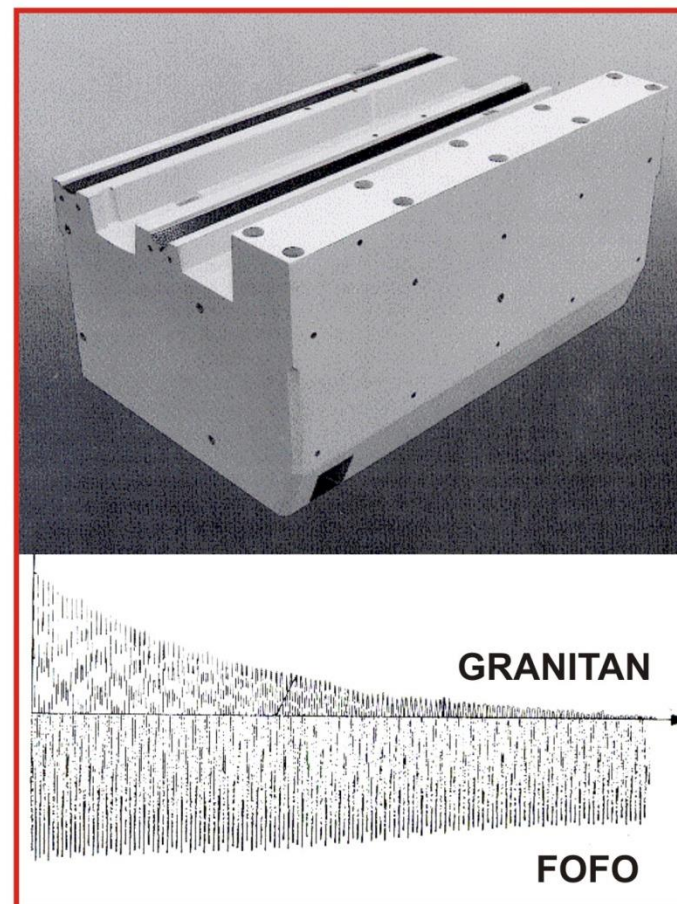
Densidade: 2400 kg/m^3

M. Elasticidade: 35000 N/mm^2

Resistência à tração: 15 N/mm^2

Resistência à compressão: 100 N/mm^2

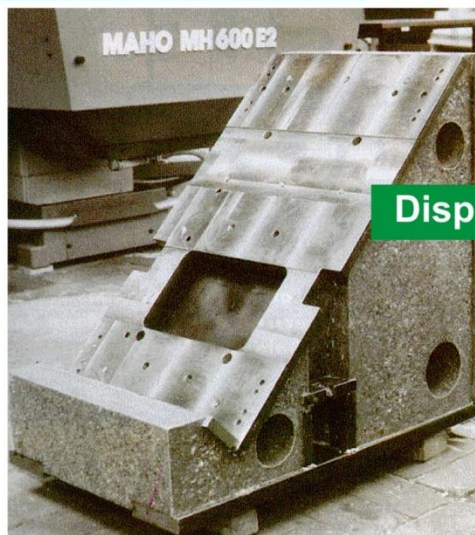
Resistência à flexão: 22 N/mm^2



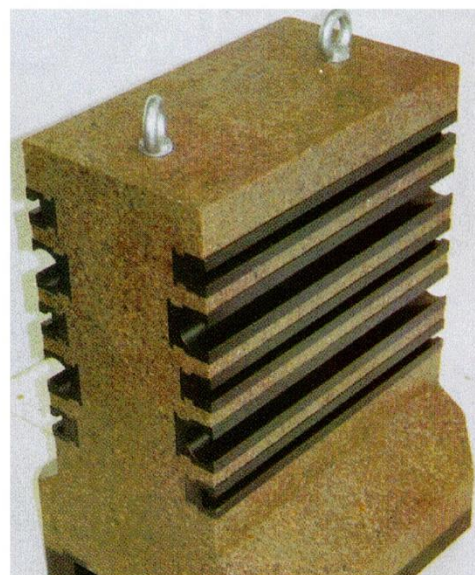
made of **stud**
granitan®

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO



Dispositivos de Usinagem



Inserto Metálico



GRANITO SINTÉTICO



CURVAS DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA
GRANISIN X FOFO

Corpos-de-provas

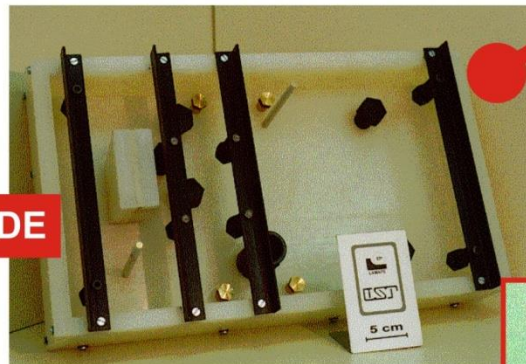


PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

SEQUENCIA DE MOLDAGEM DE ESTRUTURAS DE GRANITO SINTÉTICO

MOLDE



**RESINA
E
CATALIZADOR**



MOLDAGEM



**BASE INSTALADA
NA MÁQUINA**



**BRITAS DE
GRANITO
NATURAL**

DESMOLDAGEM



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

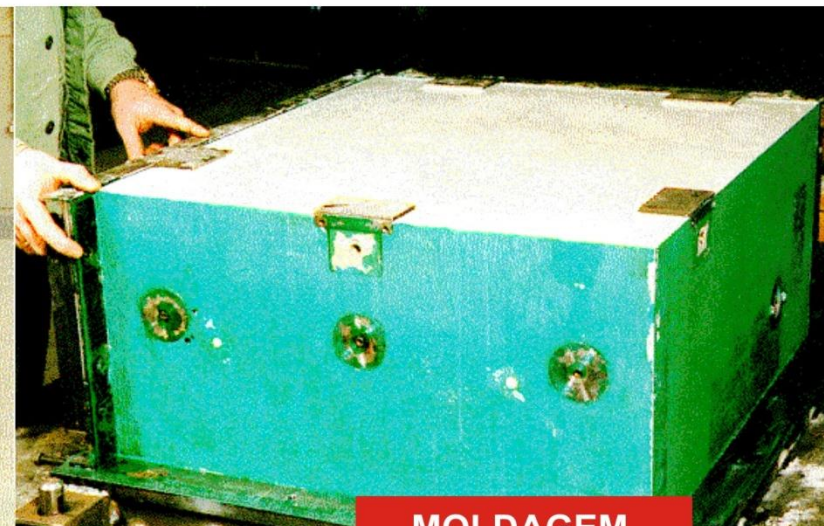
GRANITO SINTÉTICO

STEWING

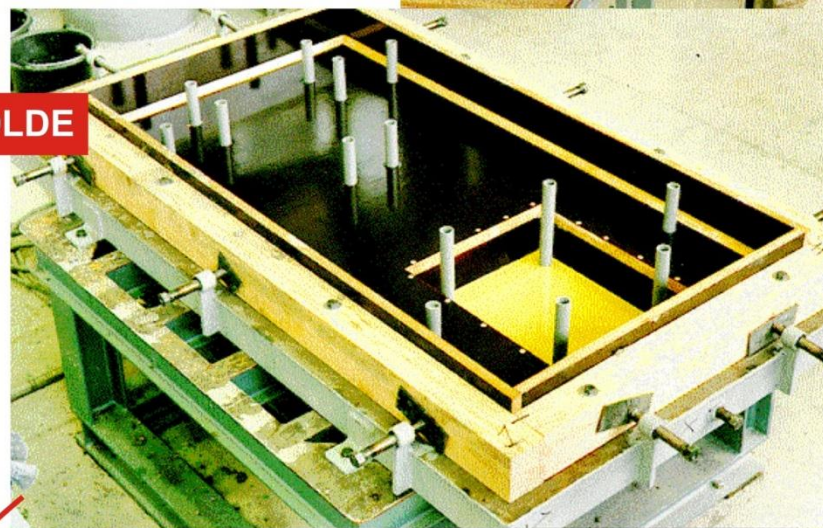
MISTURA



MOLDAGEM



MOLDE



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO SINTÉTICO

SYNCONCRETE

Base de Máquina
Moldada

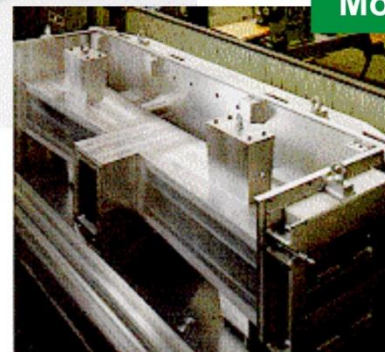


Máquina CNC

Molde



Molde



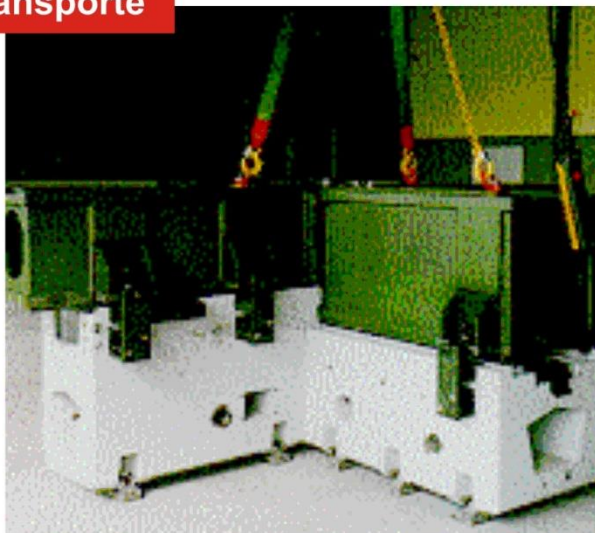
PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO SINTÉTICO

SYNCONCRETE

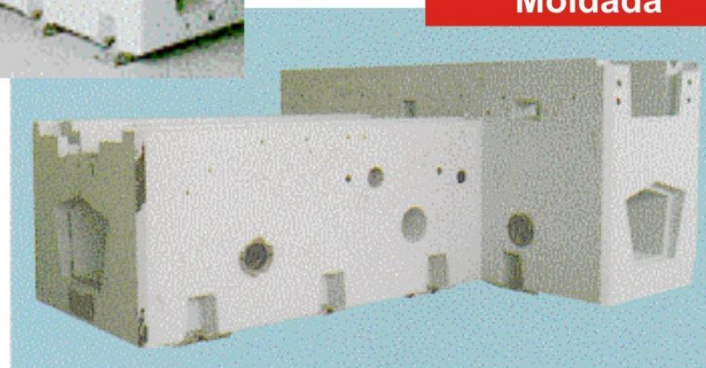
Transporte



MOLDAGEM



Base de Máquina
Moldada

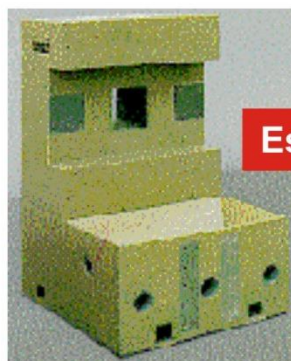


PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

GRANITO SINTÉTICO

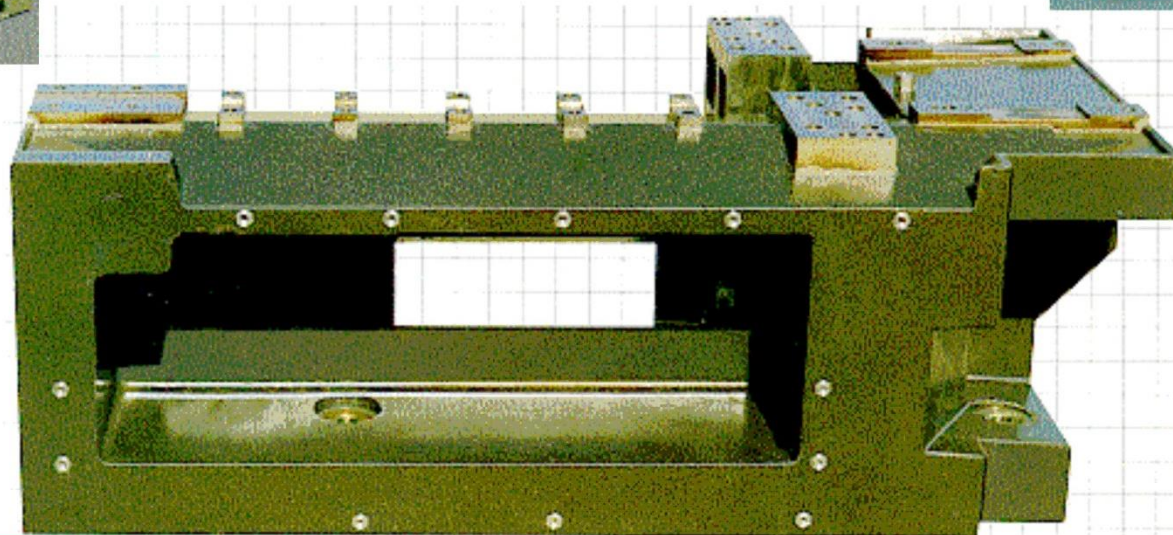
STEWING



Estrutura de Fresadora



Estrutura de Retificadora



Estrutura de Torno Paralelo



Natural Granite Base –

Nanoform 700 ultra

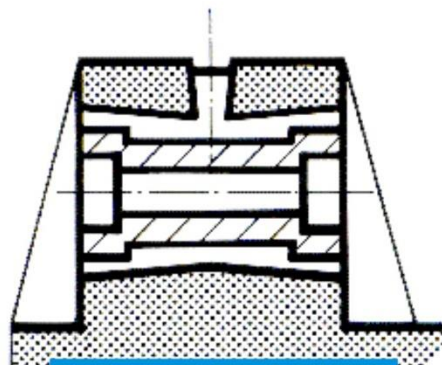
Natural granite base is lapped flat at Precitech and then sealed for life. The X-axis risers are also natural Granite. Granite provides excellent long term stability of the base of the machine so straightness and squarenesses will not be distorted over time.

<https://www.precitech.com/product/largeframelathesoverview/nanoform700ultra>

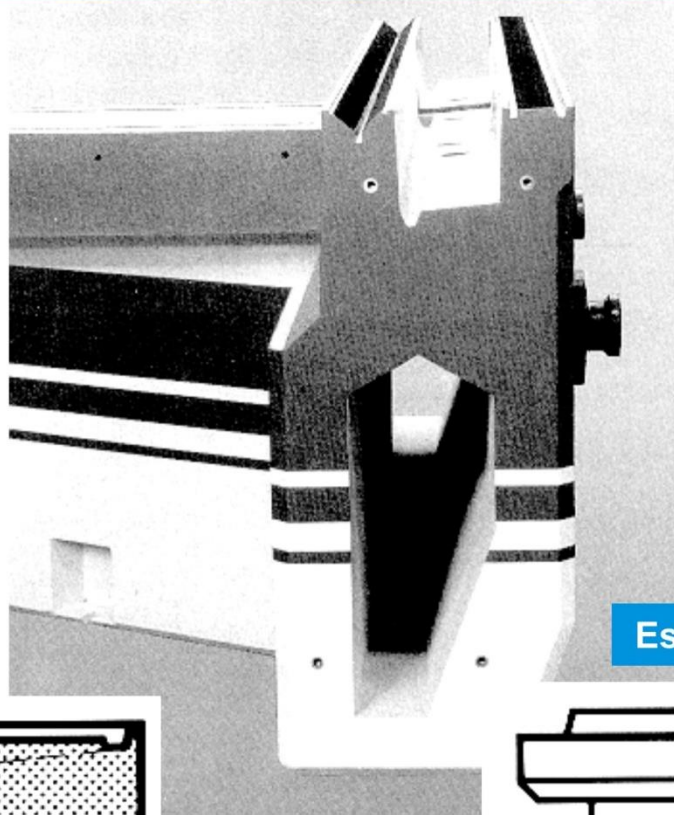
PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

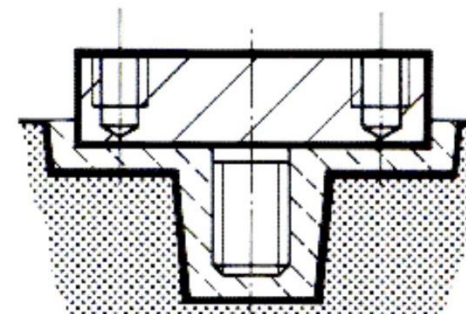
ESTRUTURA DE RETIFICADORA EM GRANITO SINTÉTICO - Fonte: Suder.



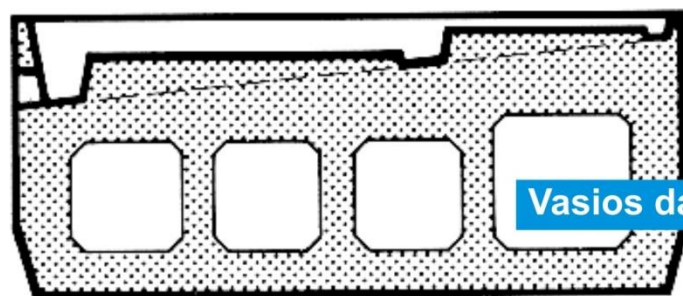
Inserto da Árvore



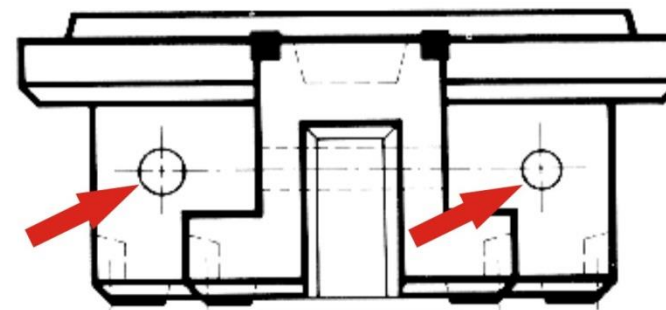
Estrutura de Retificadora



Inserto para Guias

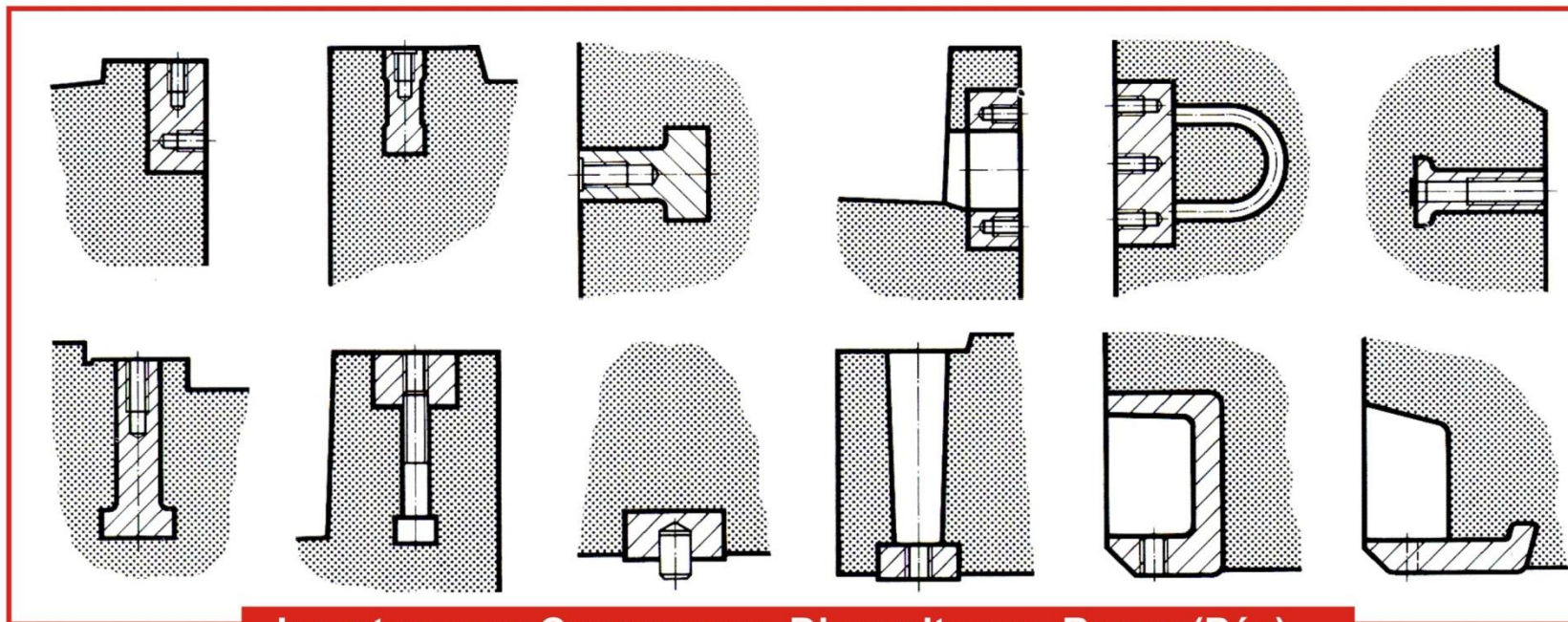


Vasios da Estrutura (Peso)



Içamento

INSERTOS E FIXAÇÃO DE GUIAS EM ESTRUTURAS DE GRANITO SINTÉTICO



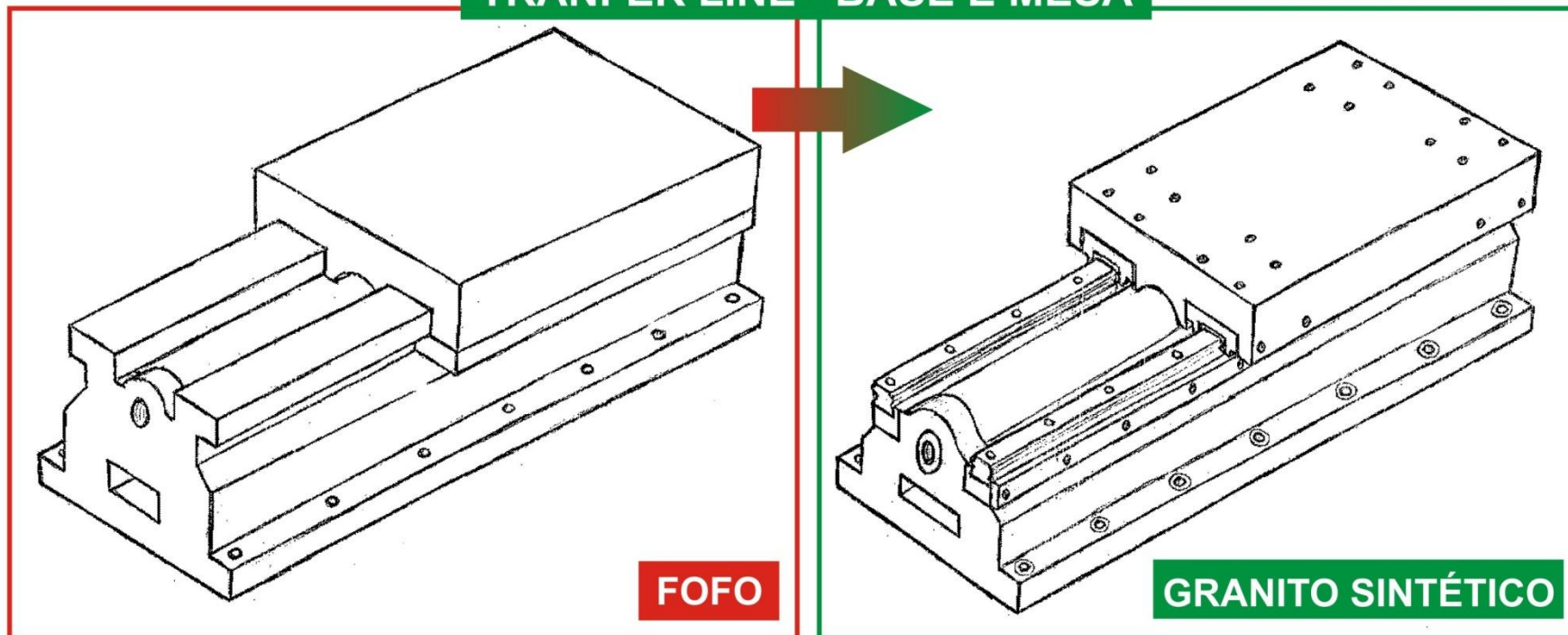
Insertos para Carenagens, Dispositivos, Bases (Pés)...



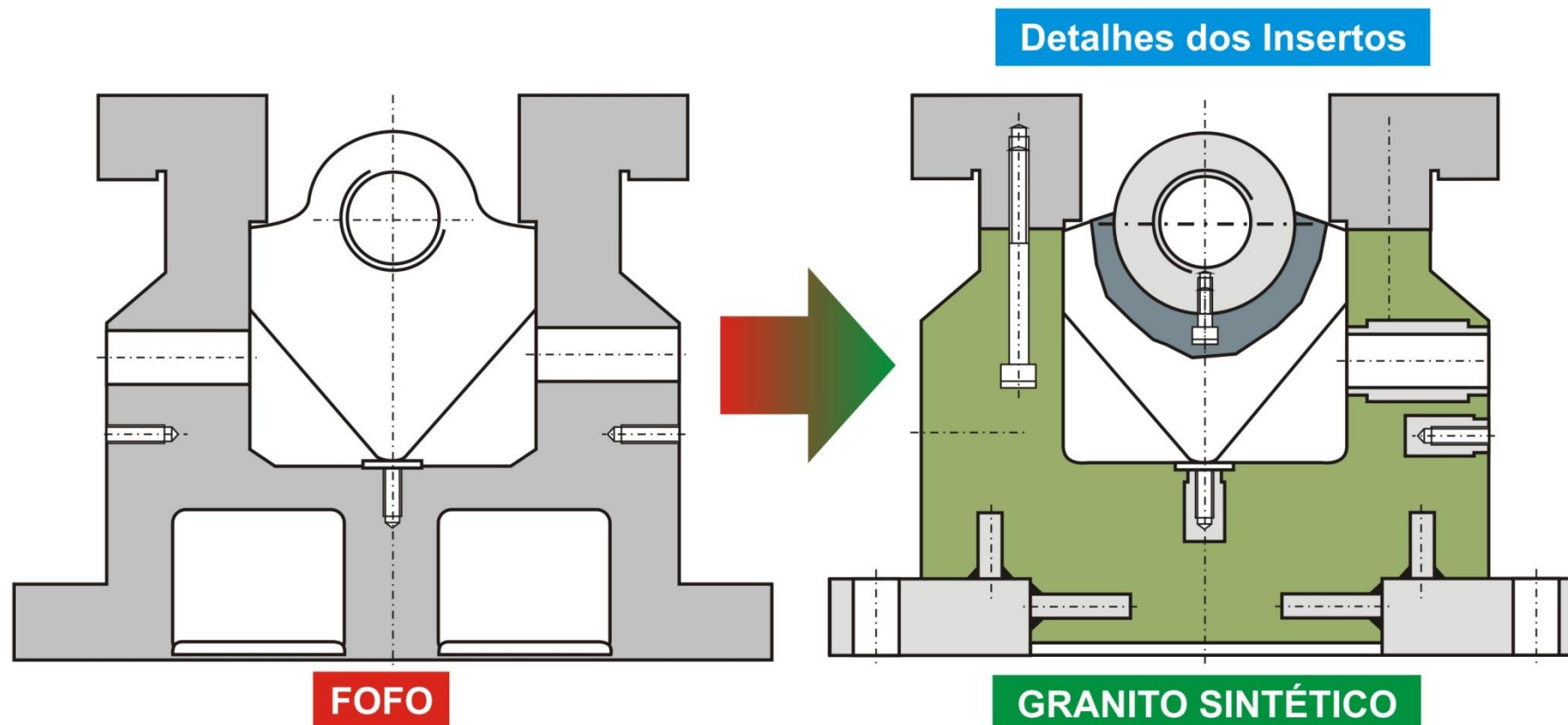
Insertos para Fixação de Guias (Mancais)

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

TRANSFER LINE - BASE E MESA

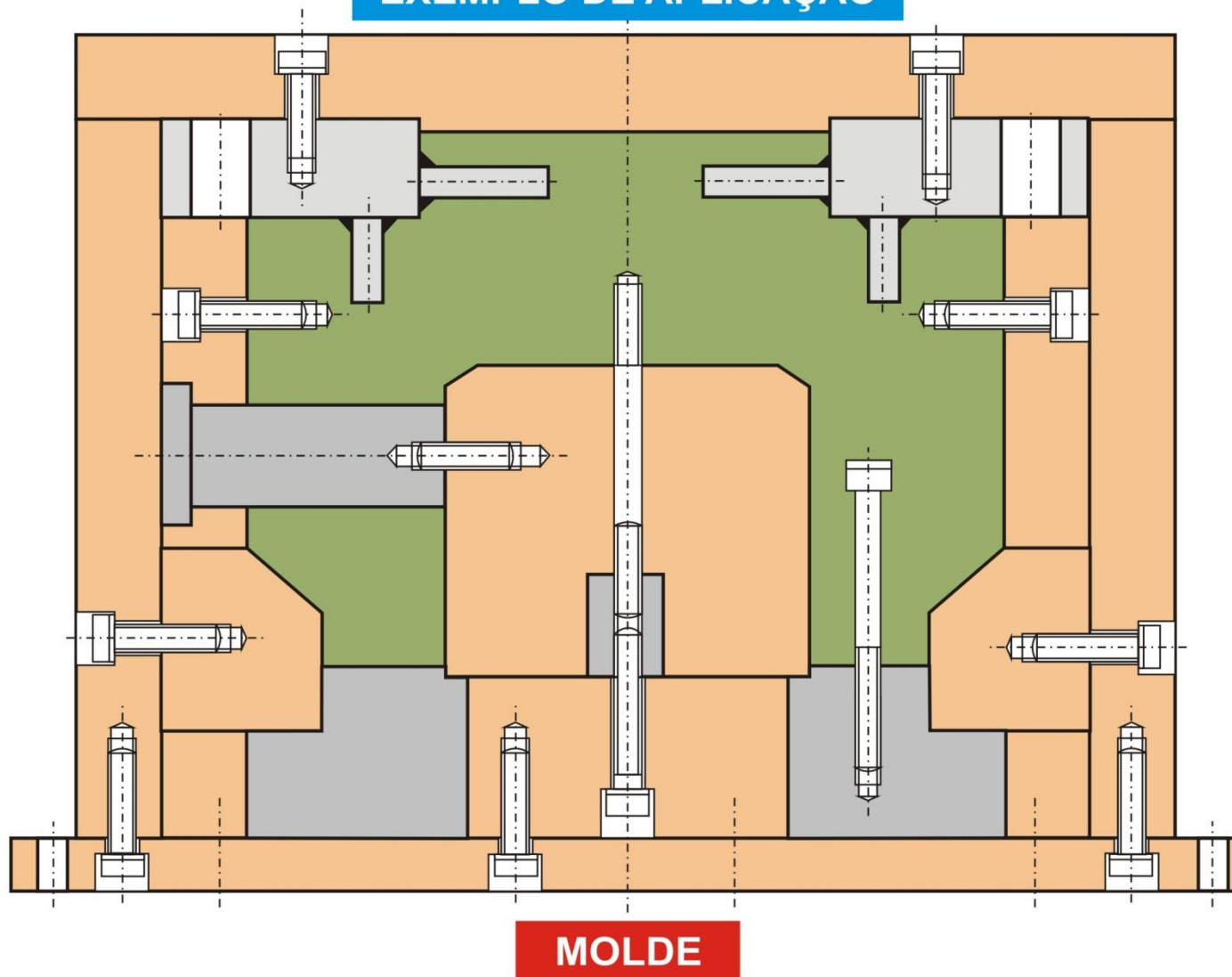


EXEMPLO DE APLICAÇÃO



ESTRUTURA PARA TRANSFER LINE

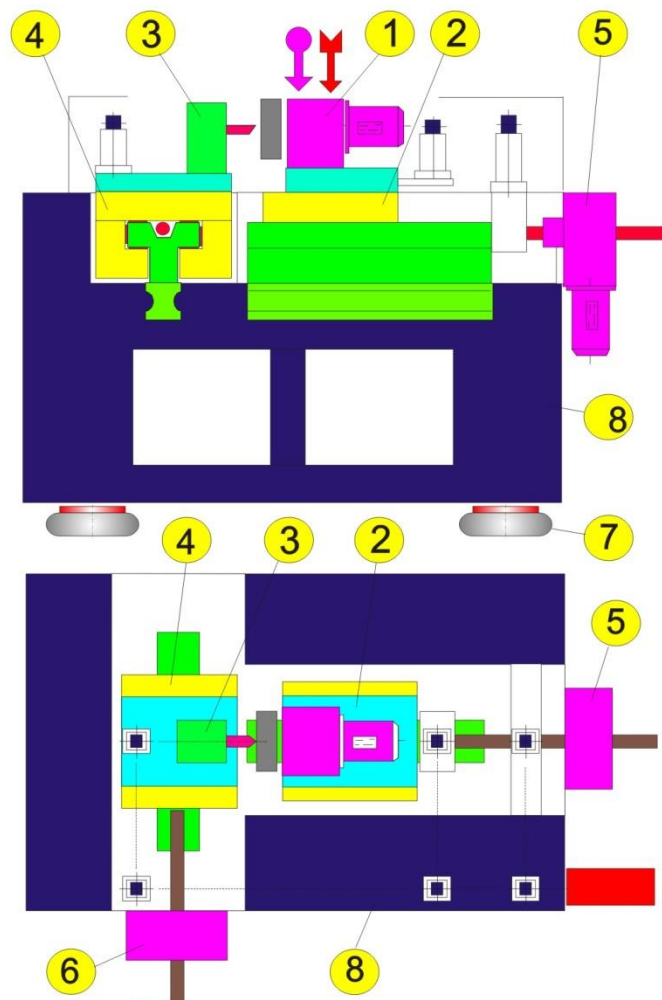
EXEMPLO DE APLICAÇÃO



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

TORNO DE ULTRAPRECISÃO PARA USINAGEM COM DIAMANTE MONOCRISTALINO (CROQUI)



EXEMPLO DE APLICAÇÃO

- 1 - CABEÇOTE AEROSTÁTICO
- 2 - MESA DO CABEÇOTE
- 3 - PORTA FERRAMENTA
- 4 - MESA DO PORTA FERRAMENTA
- 5 - ACIONAMENTO DA MESA DO CABEÇOTE
- 6 - ACIONAMENTO DA MESA DO PORTA FERRAMENTA
- 7 - AMORTECEDORES

SISTEMAS

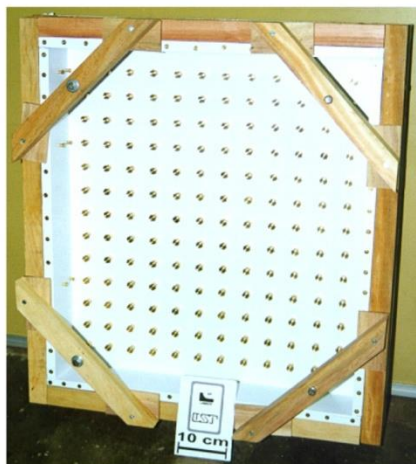
- Vácuo
- Interferométrico
- Ar comprimido

8 - ESTRUTURA DE GRANITO SINTÉTICO

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

MOLDES E ESTRUTURAS MOLDADAS



BASE DO RELÓGIO ATÔMICO (IFSC)
Molde e Base.

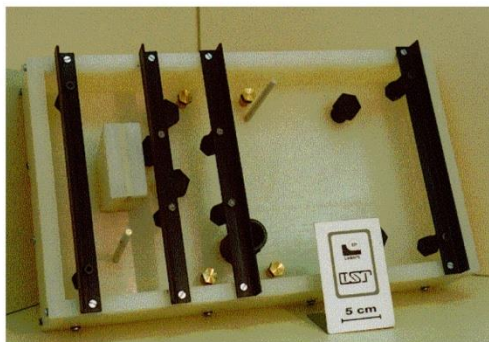


ESQUEMA DA RETIFICAÇÃO DE ESFERAS DE CERÂNCAS



**ESTRUTURA DA RETIFICADORA
DE ESFERAS DE CERÂMICA - Molde.**

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO



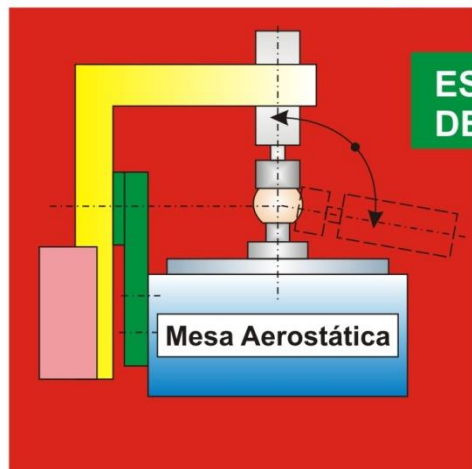
BASE DA RETIFICADORA DE CORPOS-DE-PROVAS DE CERÂMICA- Molde e Base.



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

RETIFICADORA DE ESFERAS DE CERÂMICAS



ESQUEMA DA RETIFICAÇÃO
DE ESFERAS DE CERÂMCAS

MOLDE

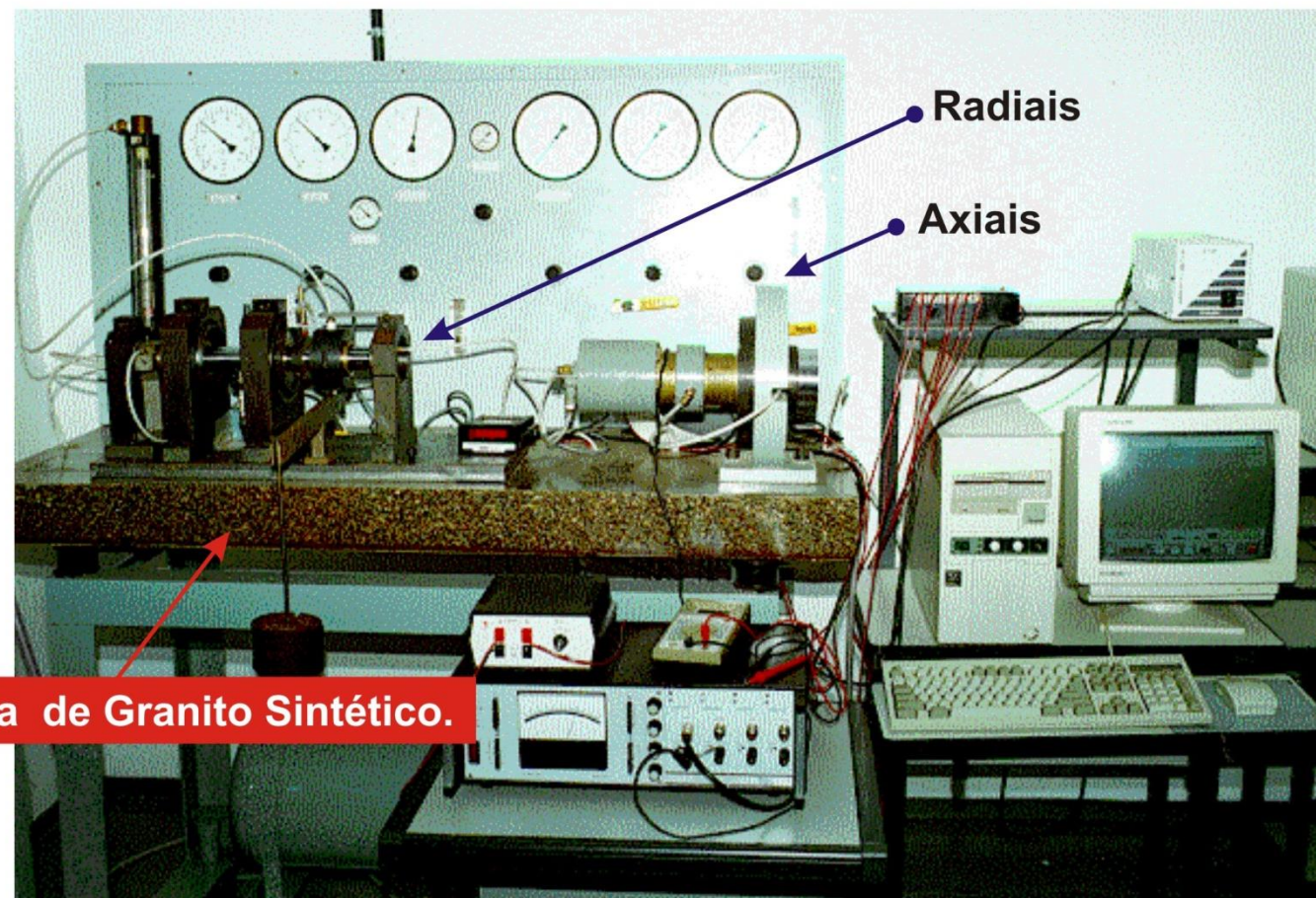


RETIFICADORA



PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO



Mesa de Granito Sintético.

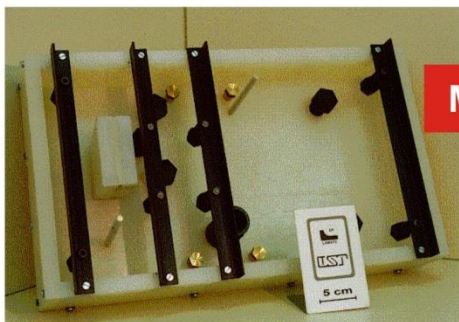
Radiais

Axiais

BANCO DE ENSAIOS DE MANCAIS AEROSTÁTICOS AXIAIS E RADIAIS

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO



MOLDE DA BASE



RETIFICADORA



BASE MOLDADA

RETIFICADORA DE CORPOS DE PROVAS

PROJETO MECÂNICO

GRANITO SINTÉTICO

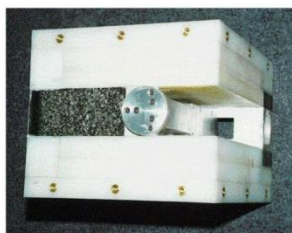
Microscópio Óptico Brasileiro



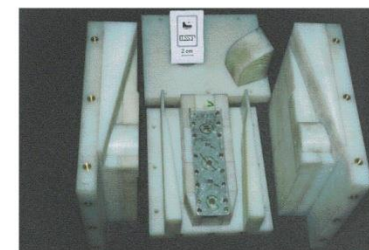
INSERTOS METÁLICOS



FIXAÇÃO NA MESA VIBRATÓRIA



DESMOLDAGEM



PARTES DO MOLDE

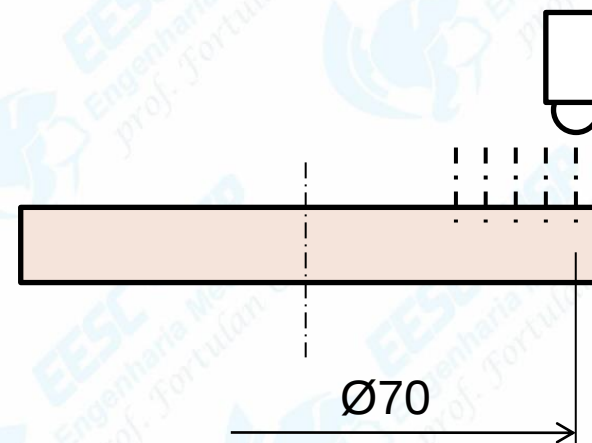
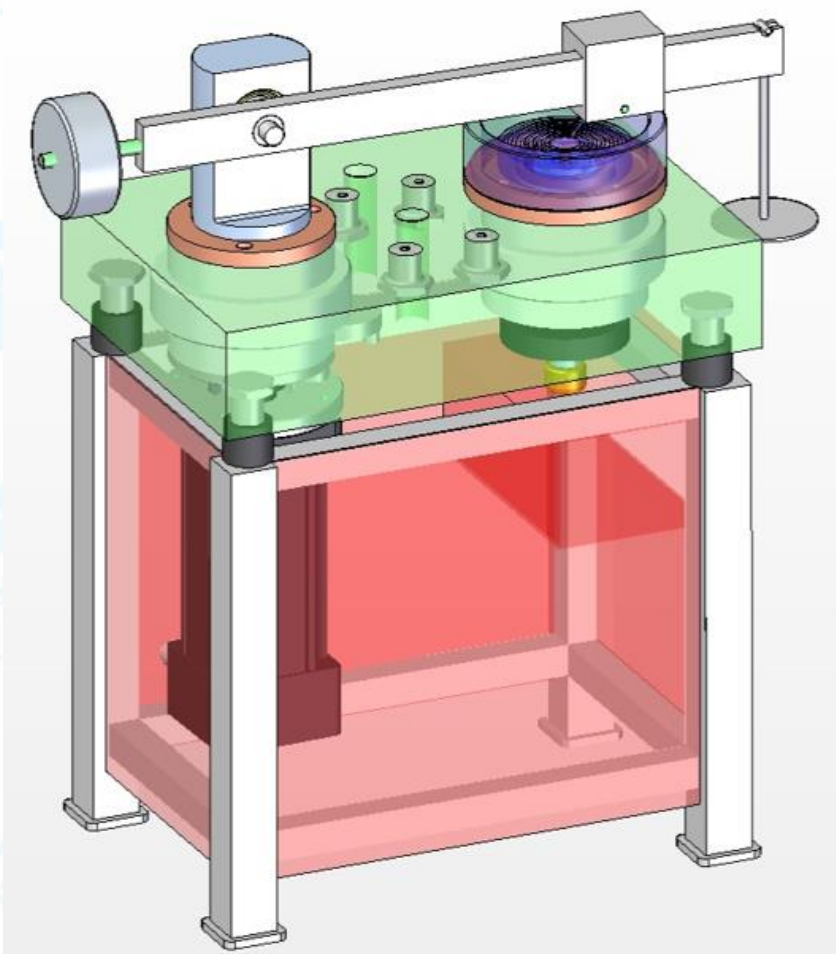


MOLDAGEM



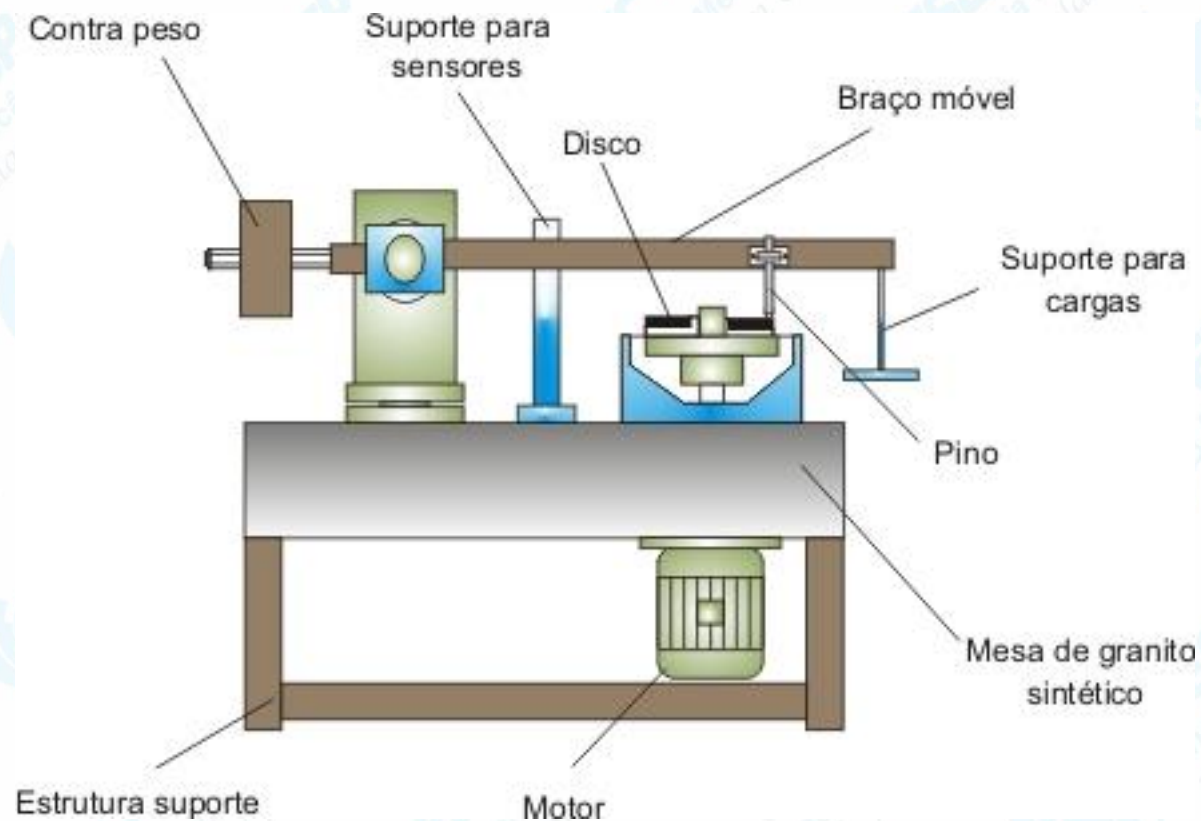
DESMOLDAGEM-COMPLETA

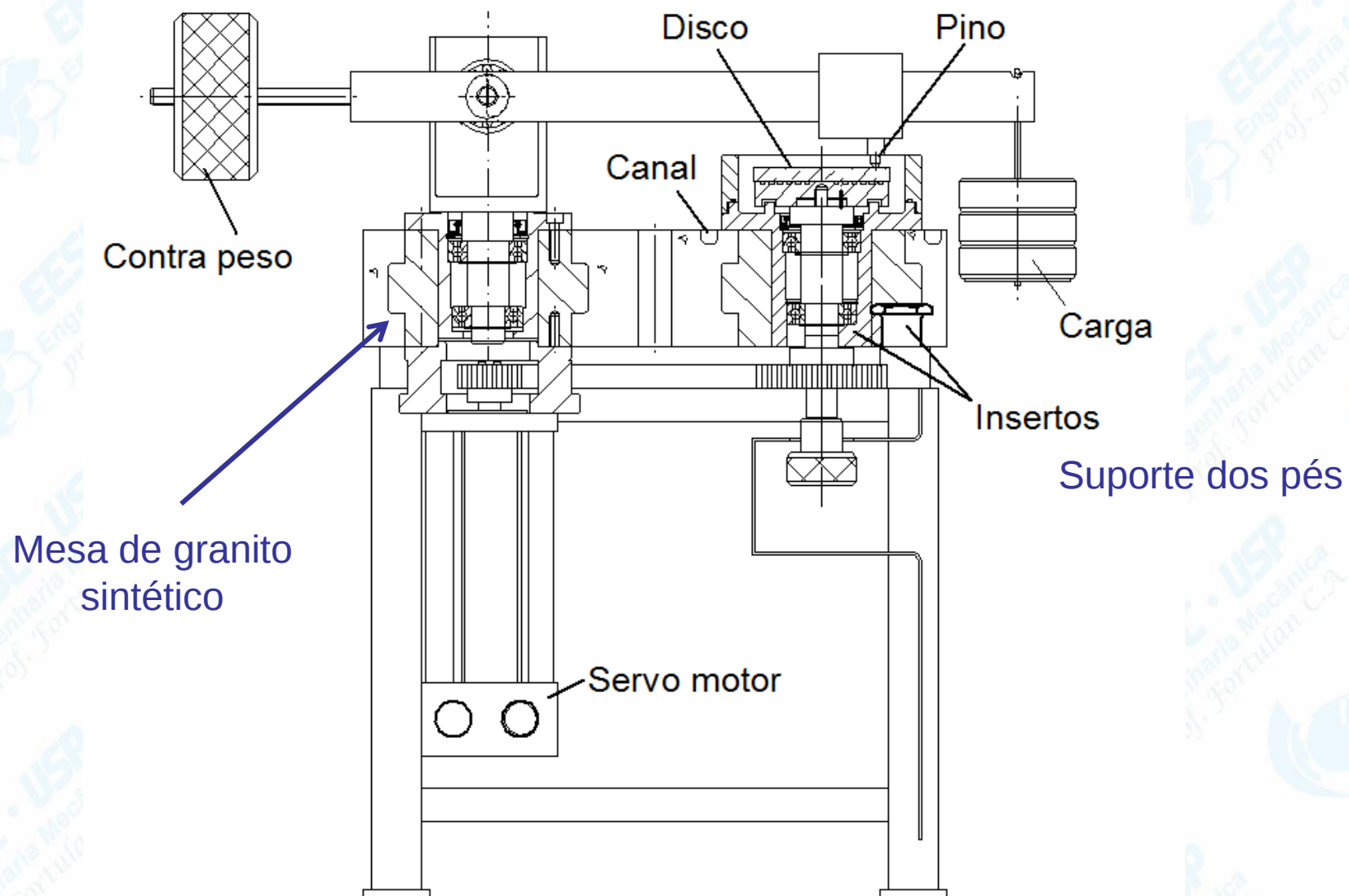
Projeto: *pin-on-disc*



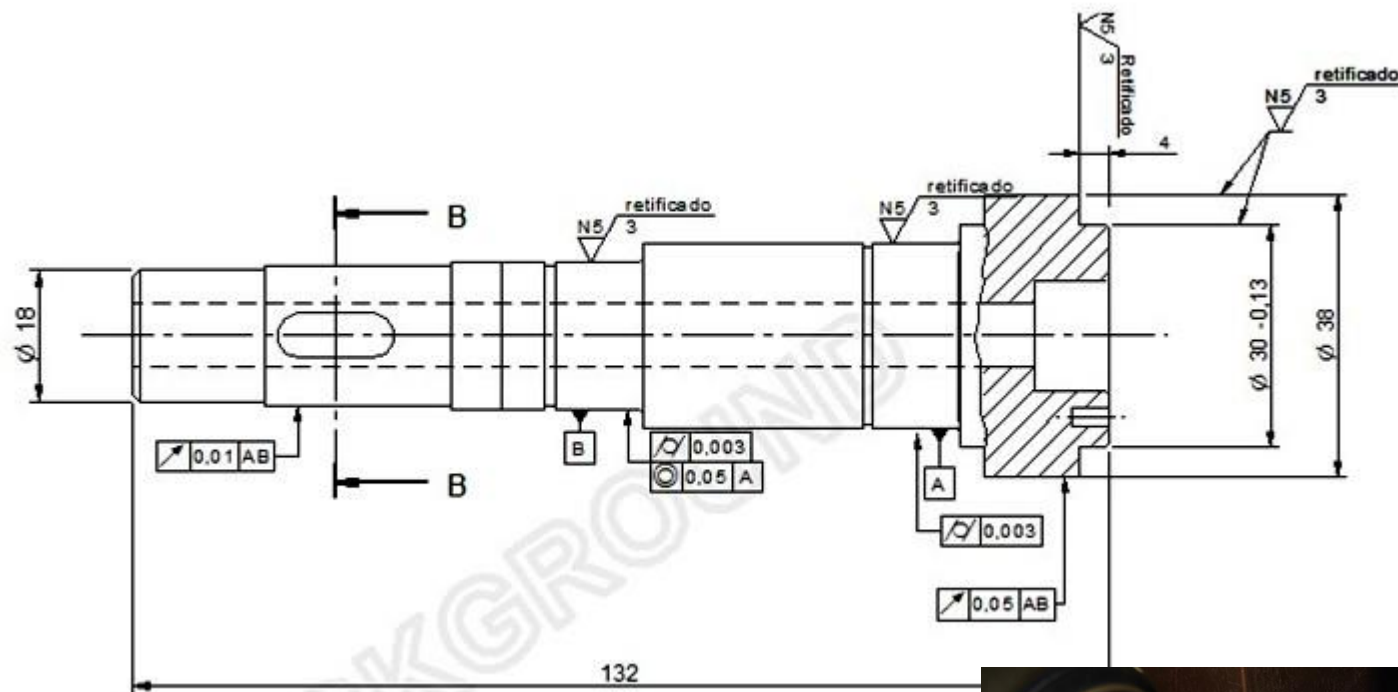
$W = 0 \text{ a } 40 \text{ N}$
 $V = \text{.....até } 5 \text{ m/s}$
A seco ou lubrificado
 $M_t = 4,5 \text{ N.m}$

Projeto 1994 – LTC/EESC

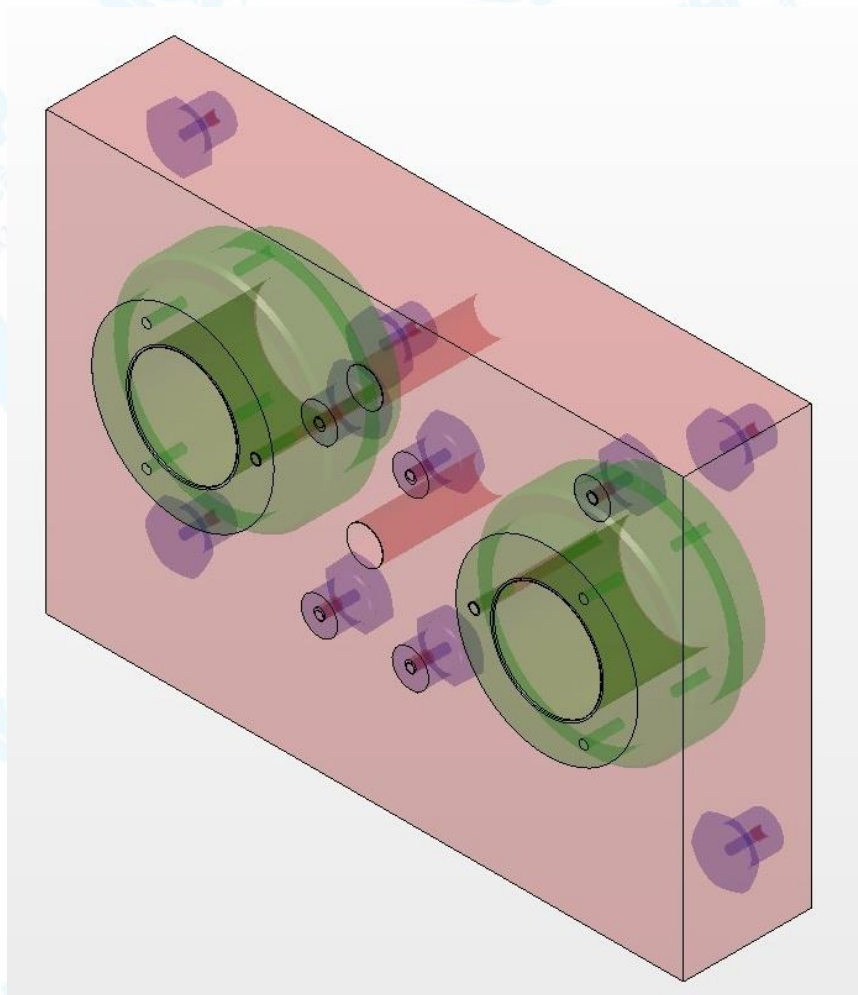




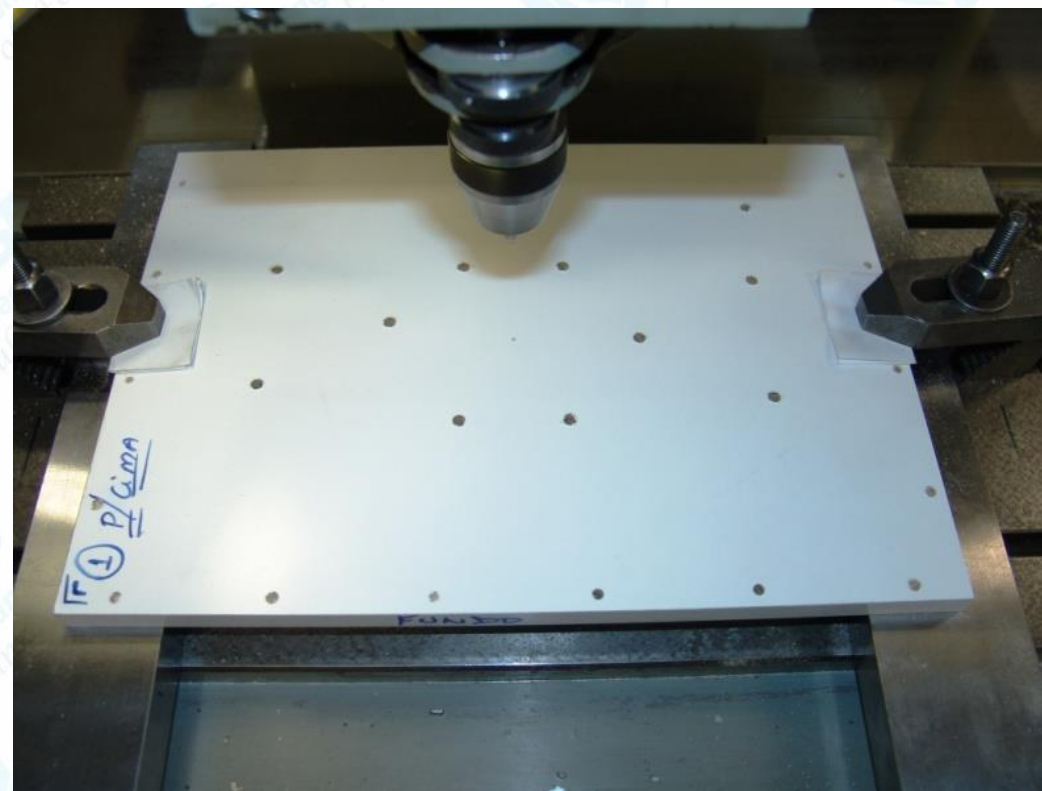
Eixo



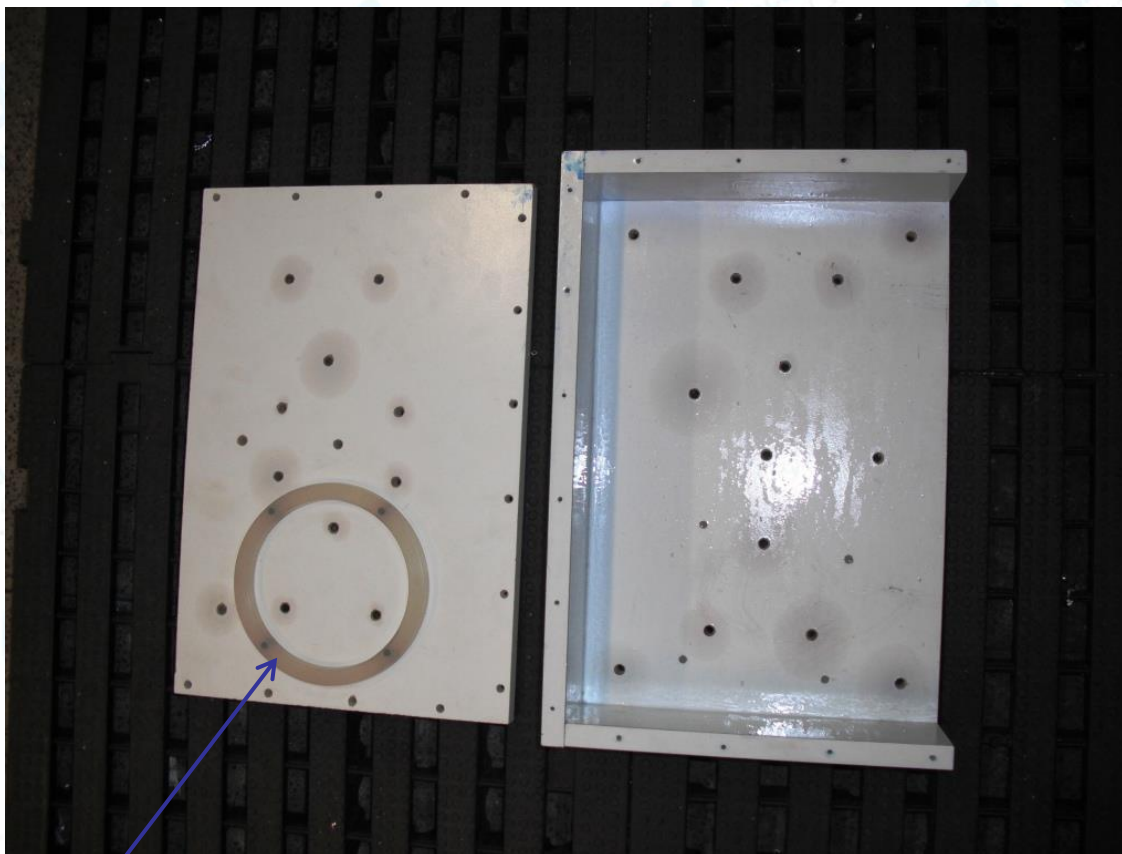
Mesa – projeto



Mesa – fabricação do molde



Montagem – desmoldante - PVAI



Anel para canal de retenção de fluídos

Formulação

Três tamanhos de grãos de granito:

- Fino – 0,3 a 1,2 mm
- Médio – 2 a 4 mm
- Grosso – 7 a 12 mm

18 testes de compactação :

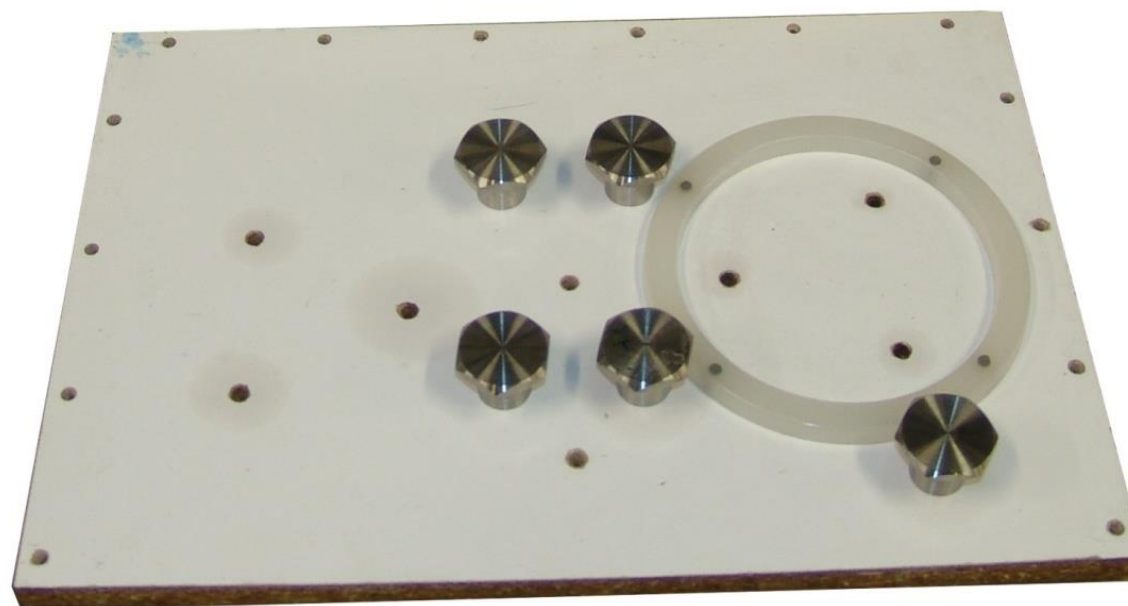
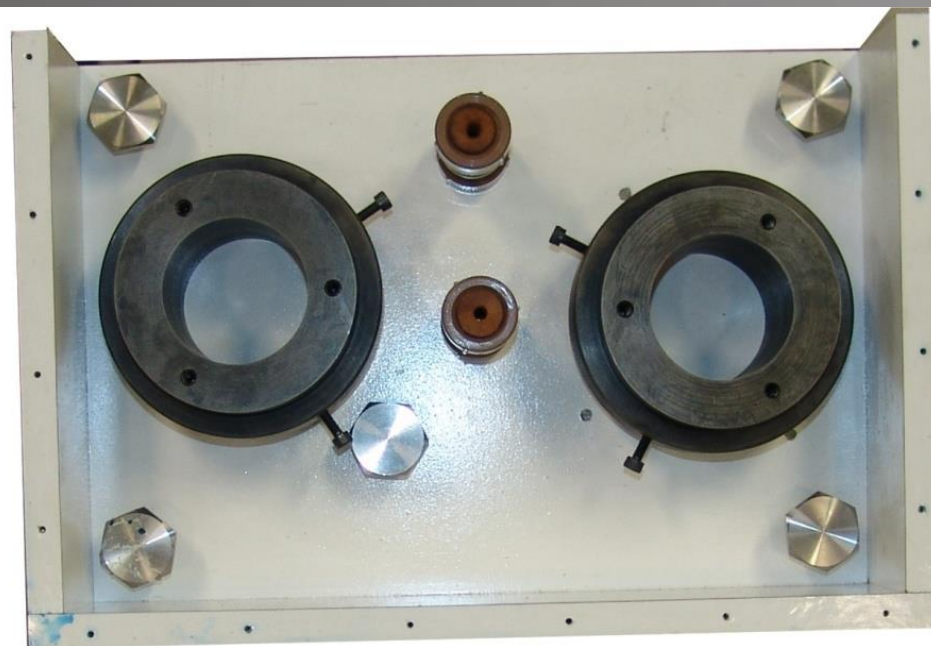
- 30% de grosso;
- 20% de médio;
- 50% de fino.

ρ 1,67 g/cm³

Mesa:
(vol excedente de 10%)

- 8,083 Kg de granito;
- 1,726 Kg de resina;
- 345g de endurecedor.

Molde - montagem



Mistura

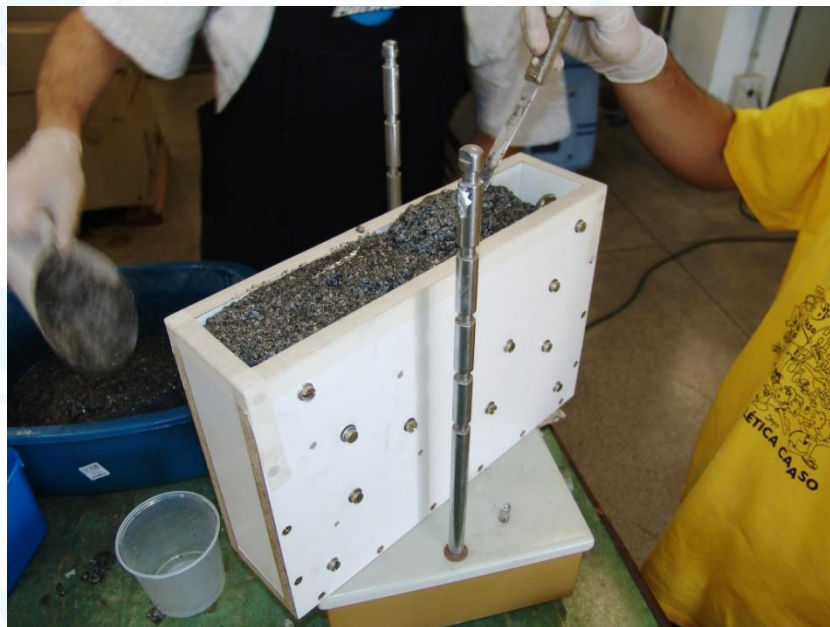


Mesa vibratória

Preenchimento



Moldagem - finalização

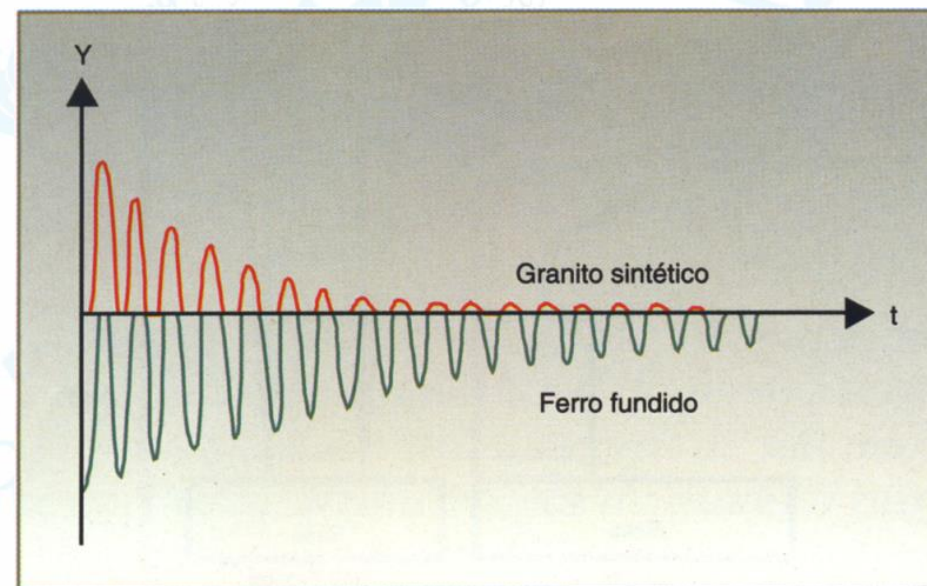


Desmoldagem

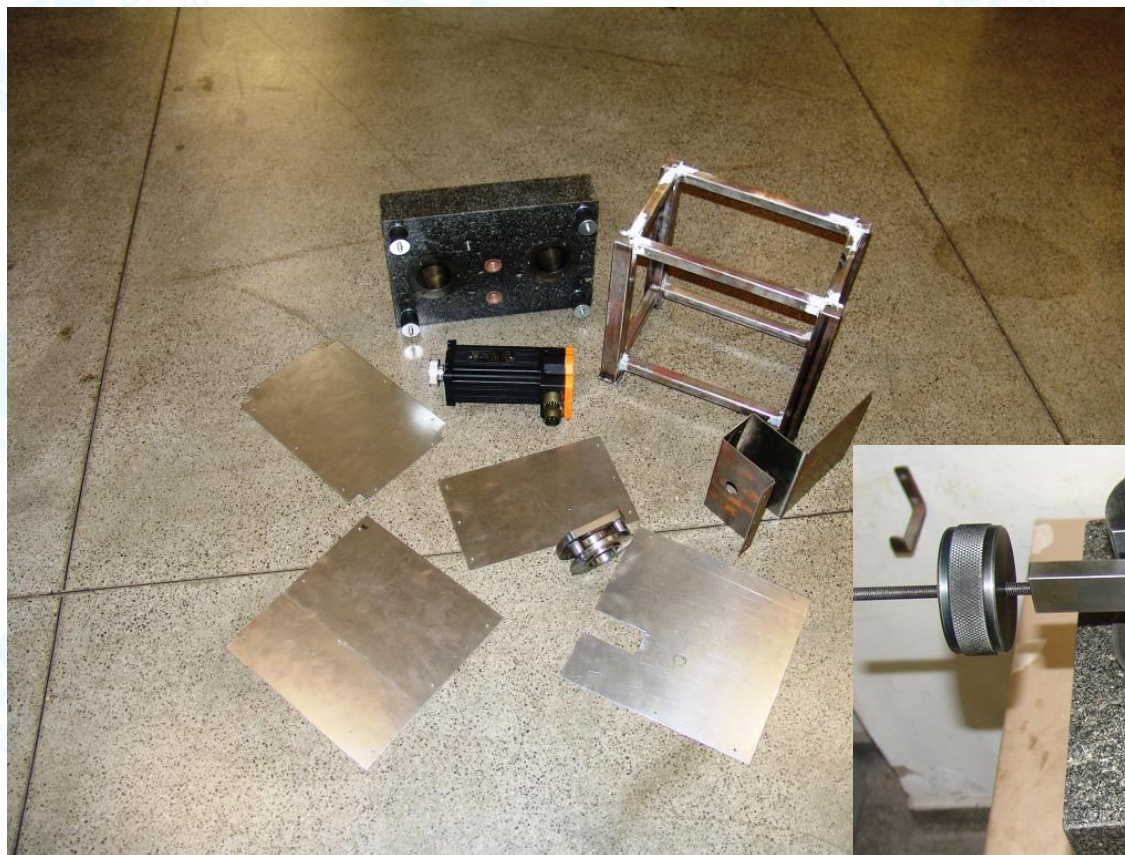


Filme de PVAI

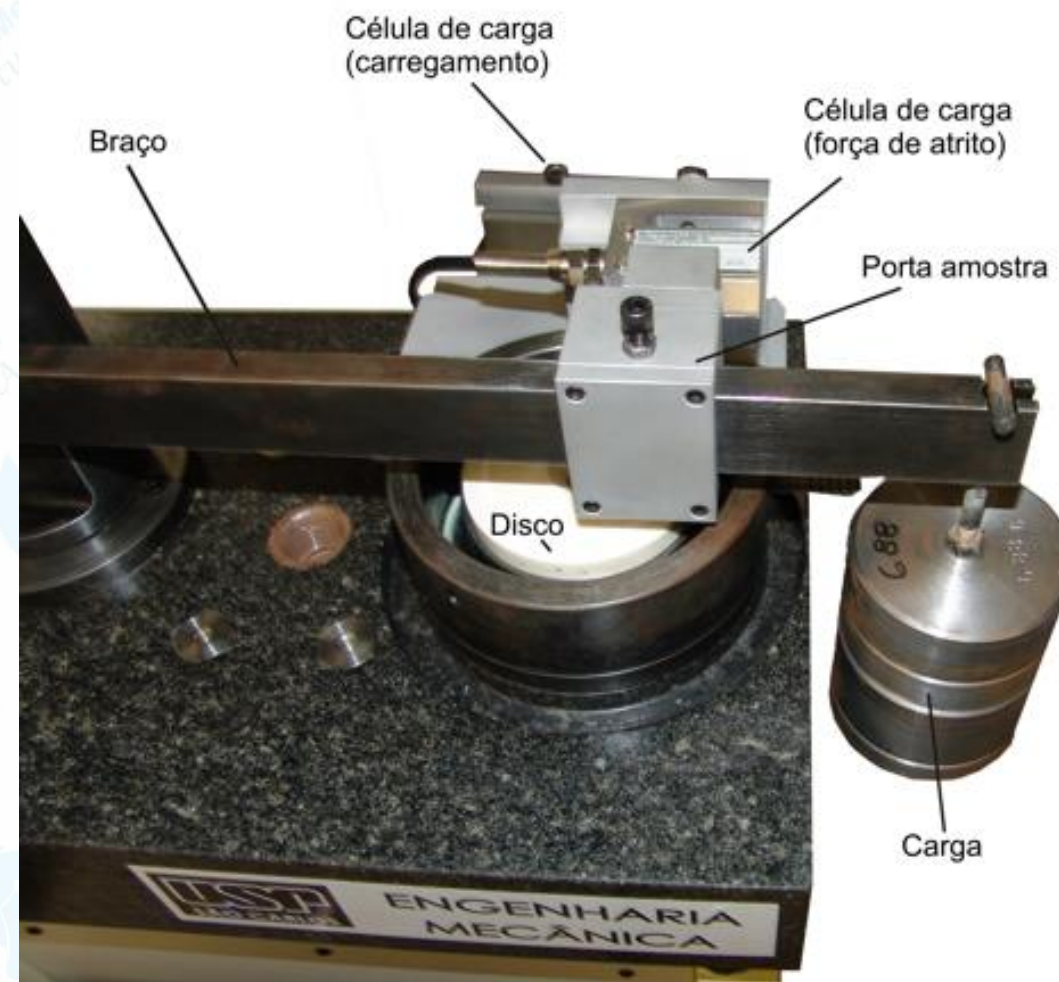
MESA



Componentes



Protótipo



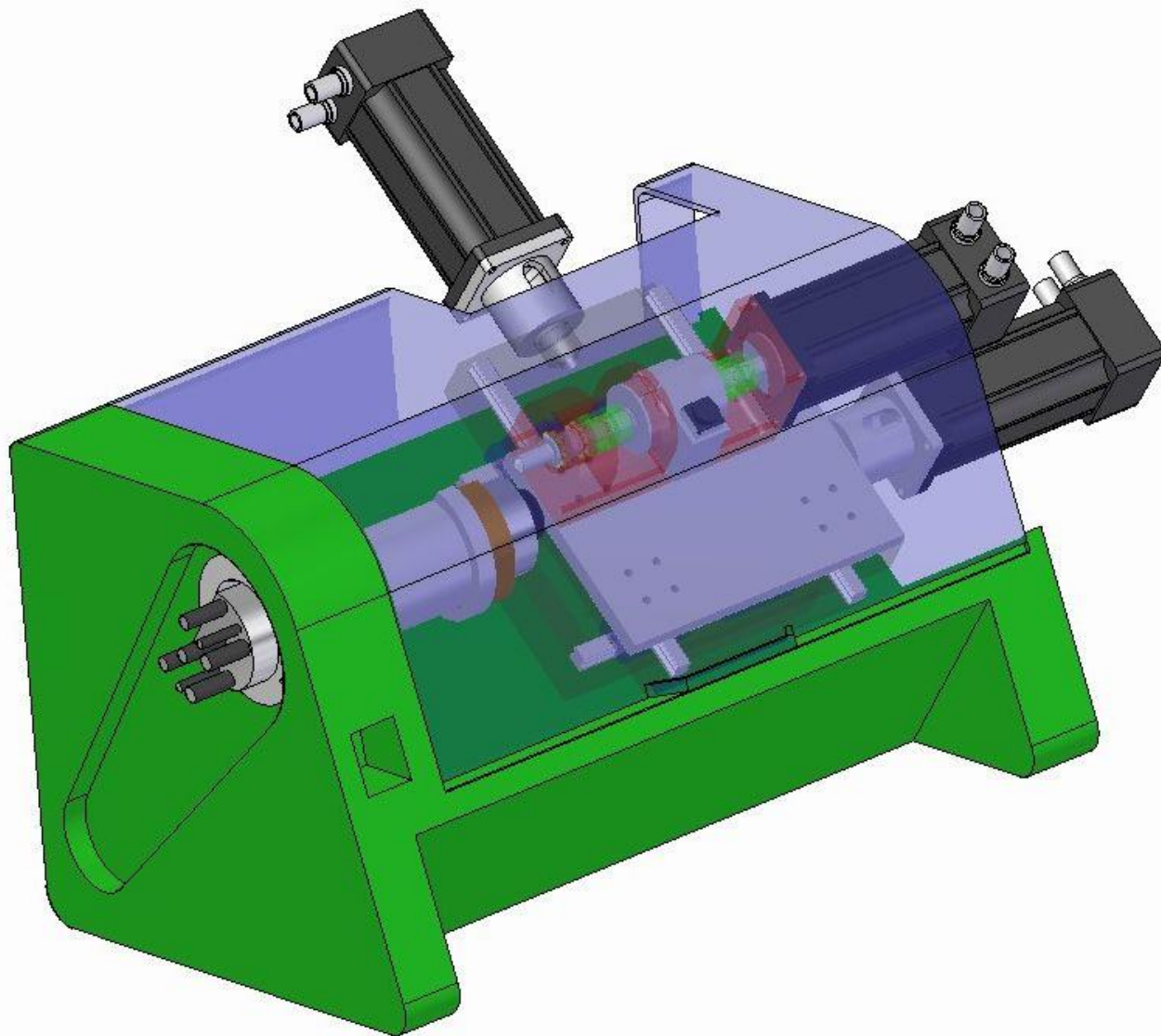
Estrutura

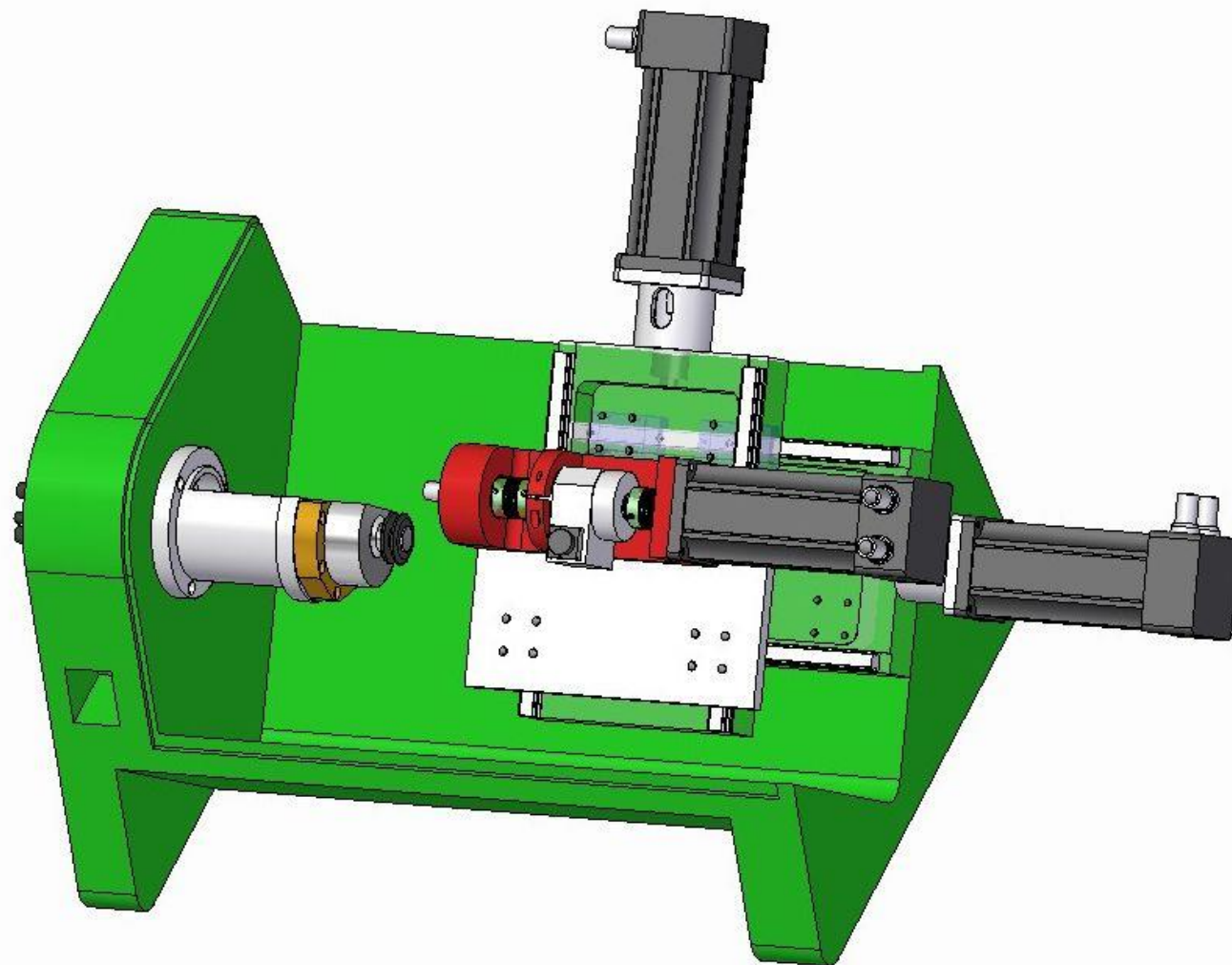


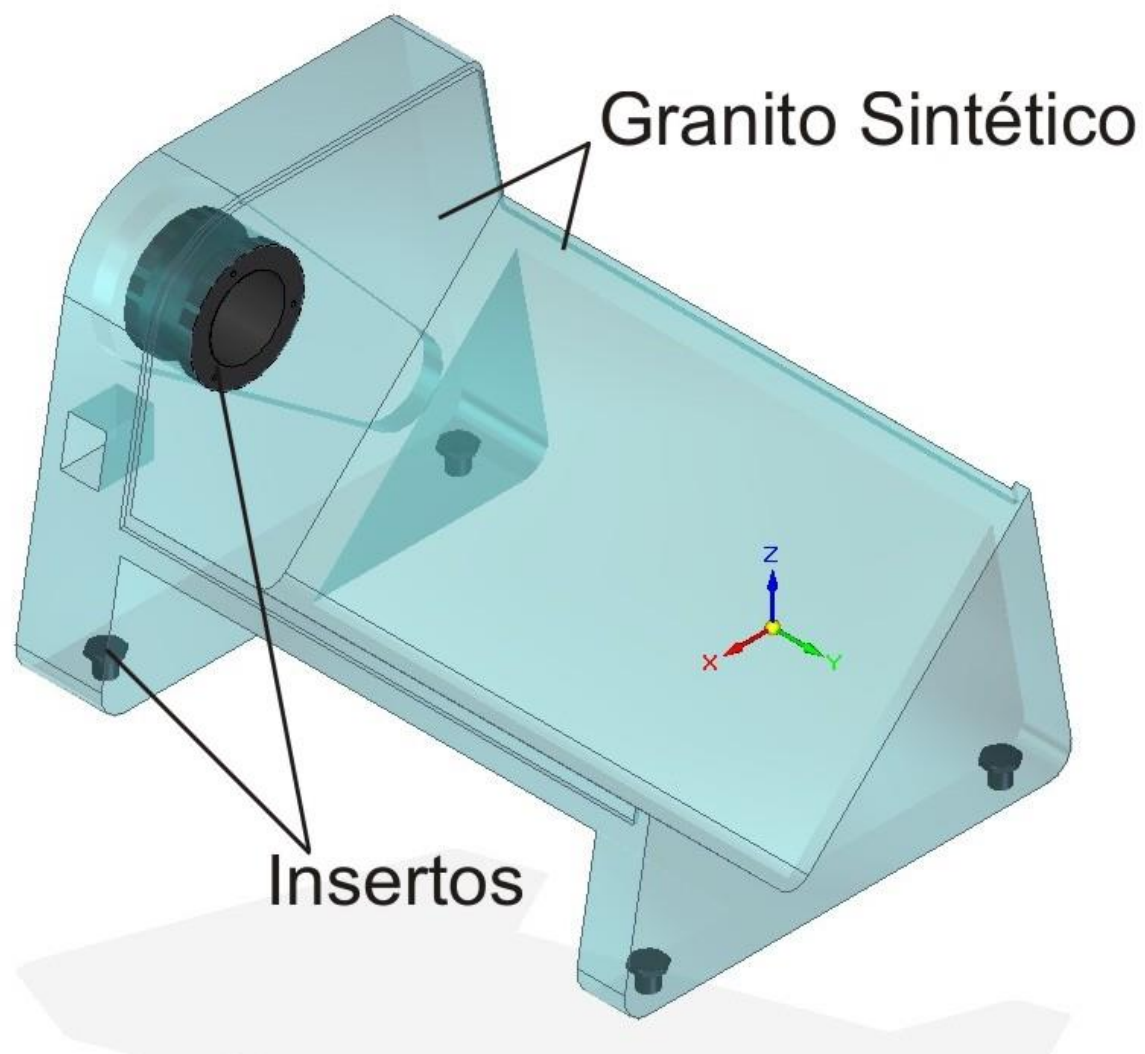
Células de carga - fixação

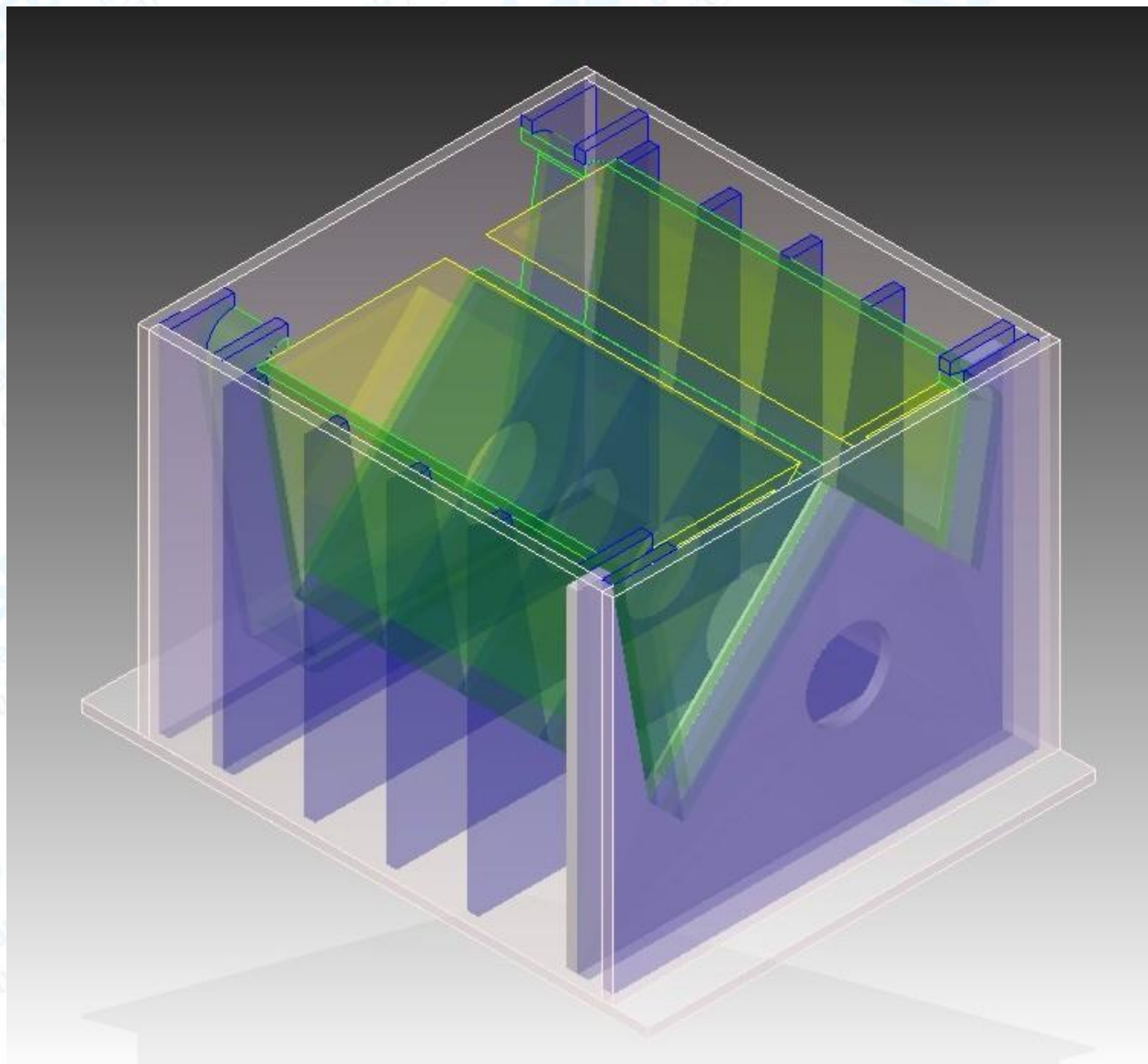


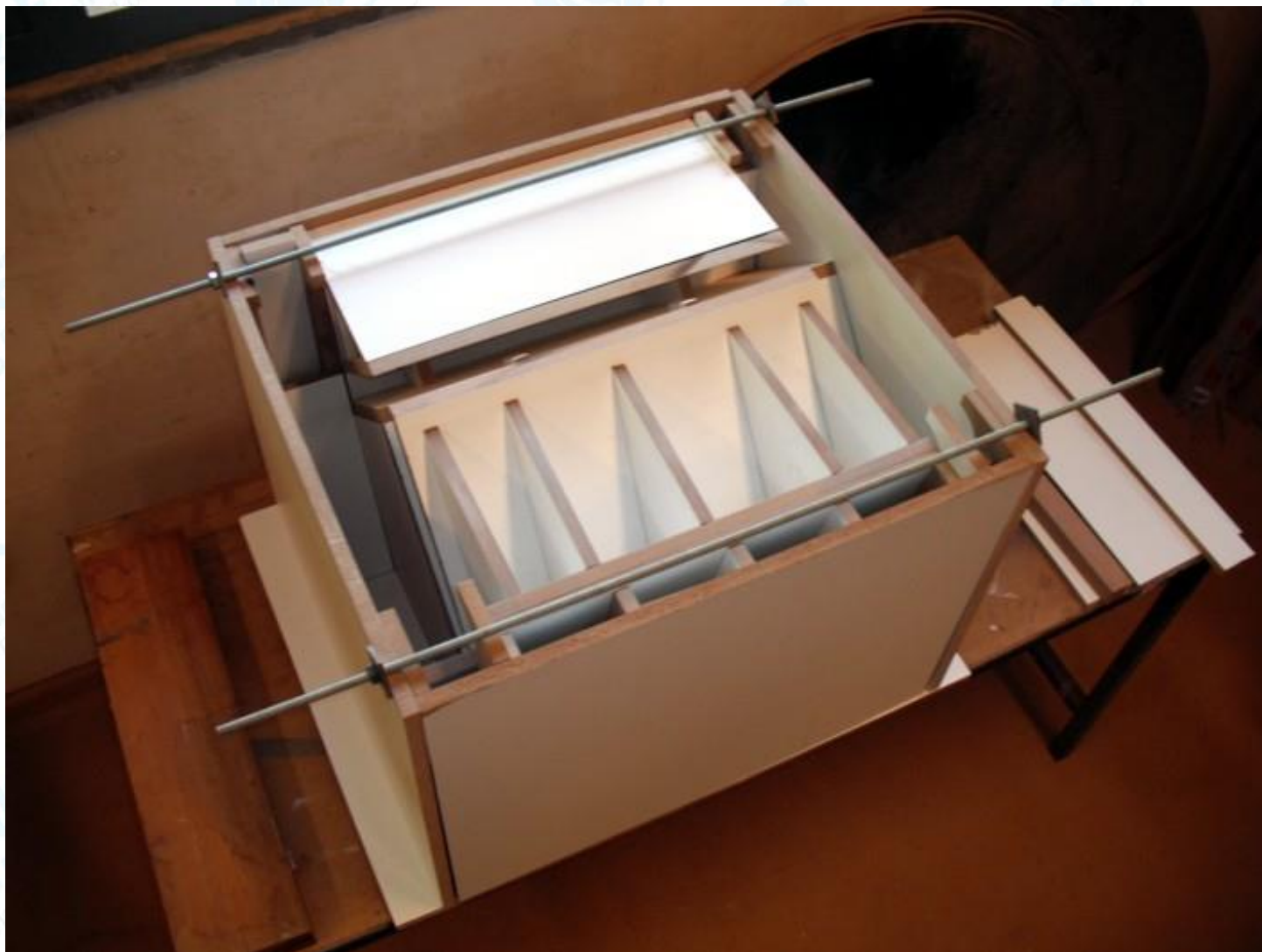










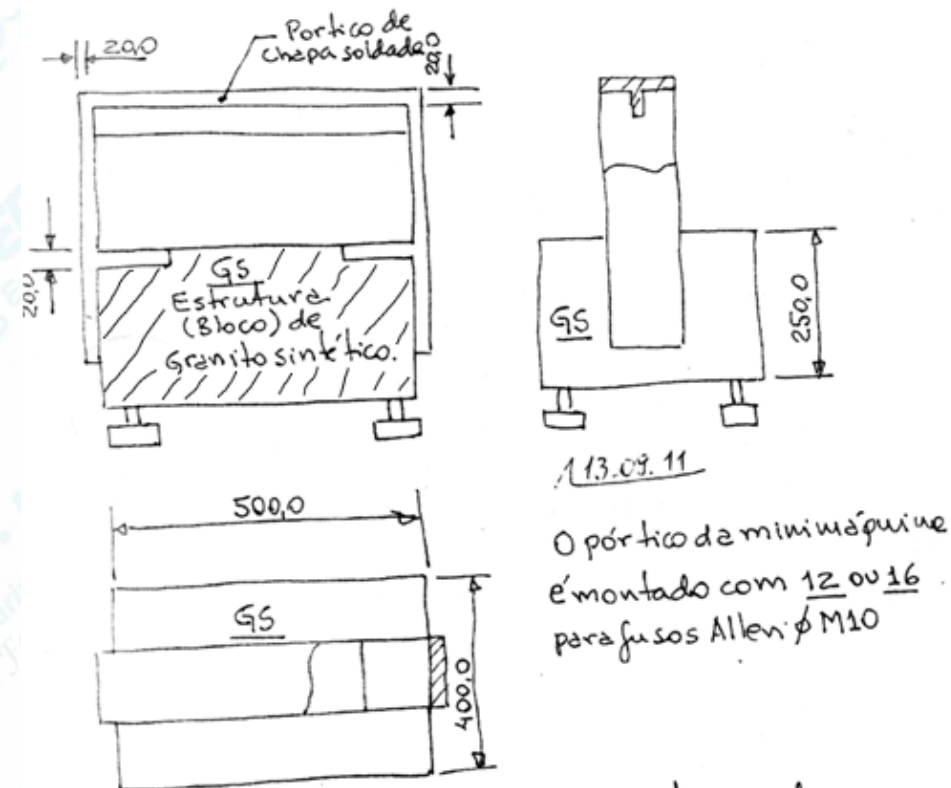




Aula 04 - Teórica

Fazer Croqui do Granito sintético com os inserts

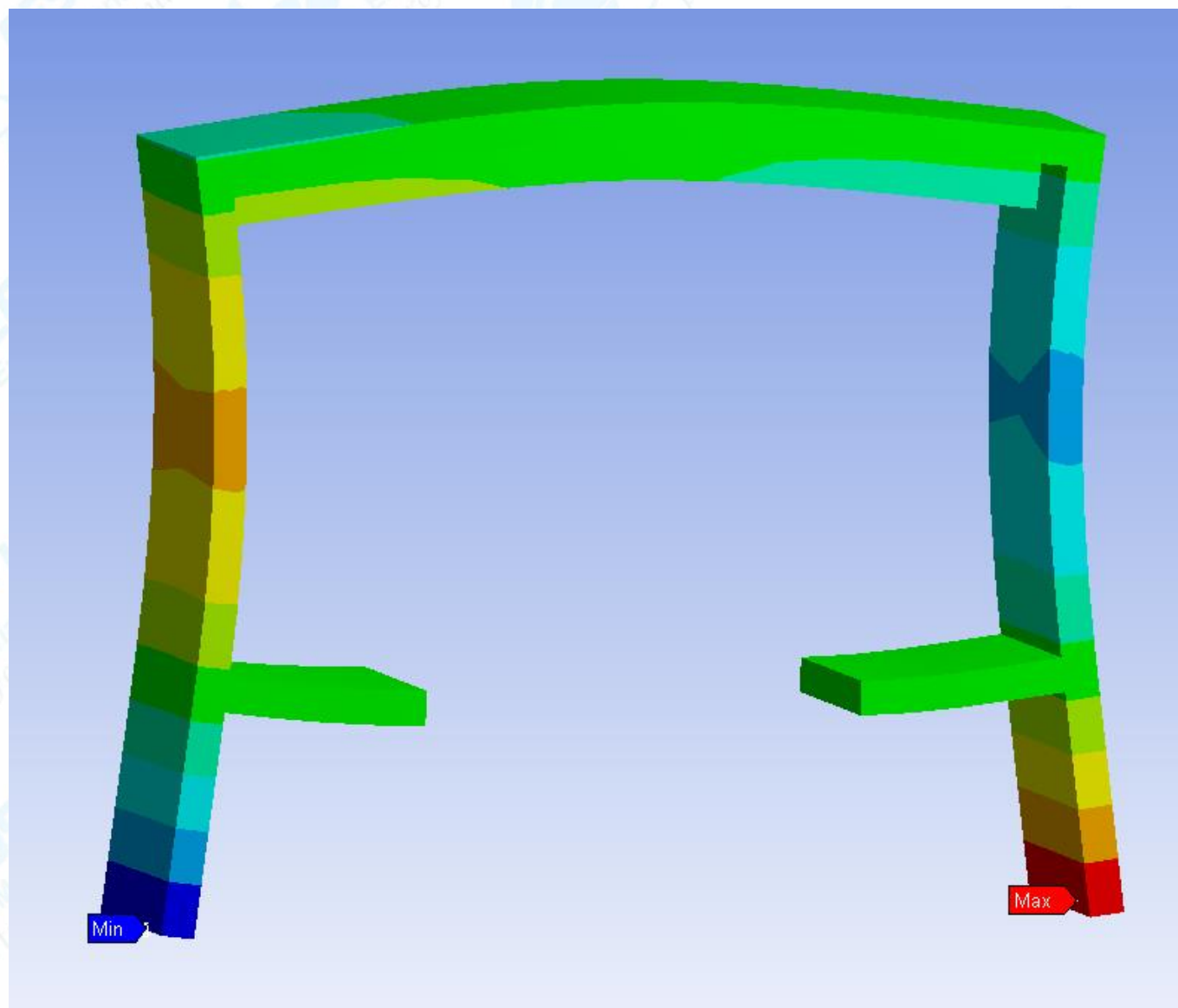
- ✓ corte parcial do granito com os inserts



1) Desenhar os inserts para a montagem do pórtico na estrutura (bloco) de granito sintético.

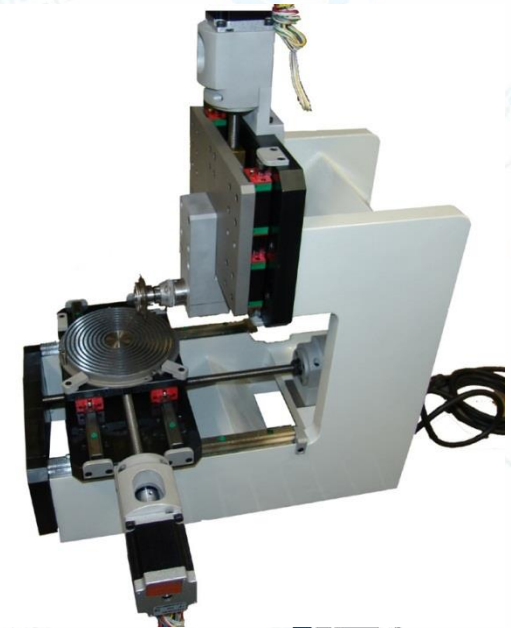
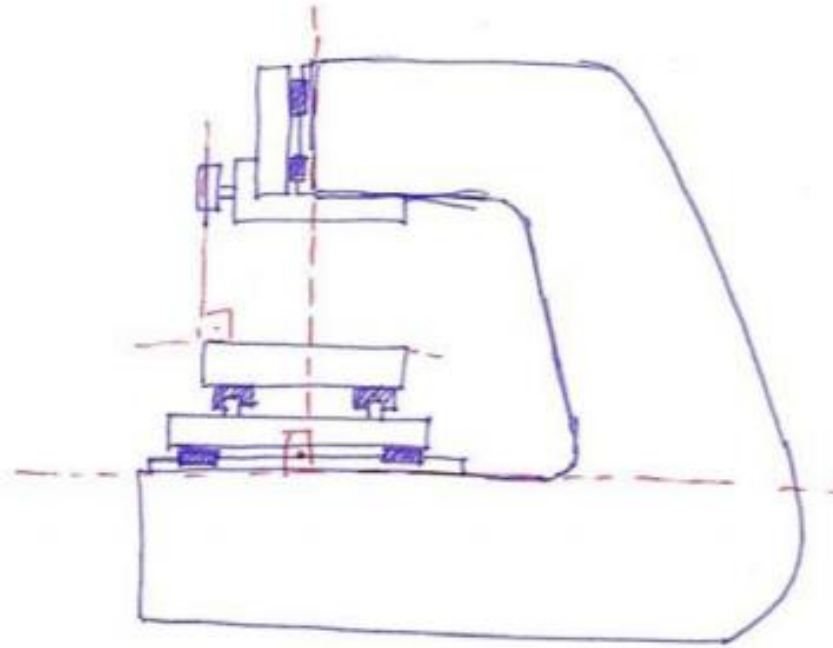
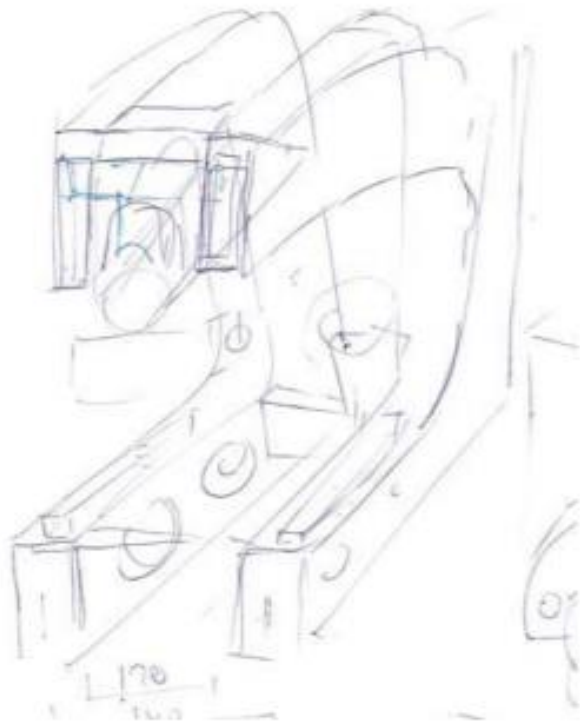
2) Desenhar os inserts dos pés.

Obs: Somente um inserto de cada, inserido na estrutura de G.S.



Aula Prática 04

Fazer croqui ou esboço da estrutura da máquina/projeto selecionado. Decidir material e processo de fabricação.



ARAUJO, L.A.O. (2009). **Projeto conceitual e construção de um protótipo de uma minimáquina para o corte de substratos de Alumina**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

Aula 04 - Prática

Croqui das Máquinas:

Refazer o croqui da aula 01 com adição de detalhes e informações adicionais.