



Desenvolver E Caracterizar Um Material A Partir De Resina Fotocurável Reforçado Com Pó De Espinélio Em Diferentes Proporções Para Utilizar No Processo De Impressão 3d Por Estereolitografia.

Aluno: Jackson Lima Menezes

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Aline Rodrigues Botelho

Introdução

Manufatura aditiva: *é um método que permite a criação de objetos a partir de um modelo virtual.*



Fase Digital

Criação de um modelo 3D



Fase de Fabricação

*Planejamento do processo
Preparação da máquina
Impressão da peça*



Fase de finalização

*Pós-processamento
Verificação dimensional e da qualidade
Refinamento*



Vantagens e novas possibilidades

- Geometrias complexas;
- Capacidade de acelerar o processo;
- Eficiência em termos de custos e redução de desperdícios;
- Estímulo a pesquisa contínua em materiais;
- Reaproveitamento de materiais de descarte.

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente

77,1 milhões de toneladas

33,3 milhões

Objetivos



Específico

Geral

Criação de novas materias;

Acompanhar o crescimento tecnológico;

Colaborar com novas pesquisas no setor acadêmico;

Buscar novos métodos de minimizar o impacto ambiental.

Desenvolver e caracterizar um novo material compósito, composto por resina fotocurável reforçado com pó de espinélio em proporções de 3% e 5%, para ser utilizado na impressora 3D por estereolitografia.

IPIA

Instituto de Pesquisa
Econômica e Aplicada

Resíduos sólidos industriais

R\$ 250 milhões / ano.

Potencial para R\$ 1 bilhão / ano.



Justificativa

Pesquisa contínua e o desenvolvimento de novos materiais,
afim de atender as novas tecnologias;

Novas características que podemos alcançar, como:
aprimorar características térmicas, mecânicas, elétricas... ;

Contribuir também no setor sustentável e econômico;

Hospital Basel (2022)

Cirurgias de craniomaxilo

-33%

2.000
francos suíços



Outra forma de economia esta direcionada no uso de matéria-prima utilizada nas impressões:

Filamento / resina

Departamento de Energia dos EUA, 2017,

*reduz custos com materiais;
uso mais eficiente dos mesmos;
minimiza o desperdício;*

Revisão bibliográfica

Resina fotocurável (polímero):

líquido viscoso



polimerização



estado sólido



Espinélio ($MgAl_2O_4$):

magnésio

+

alumínio

+

oxigênio

2

4

**Polímero
(matriz - resina)**



**Reforço
(espinélio - $MgAl_2O_4$)**



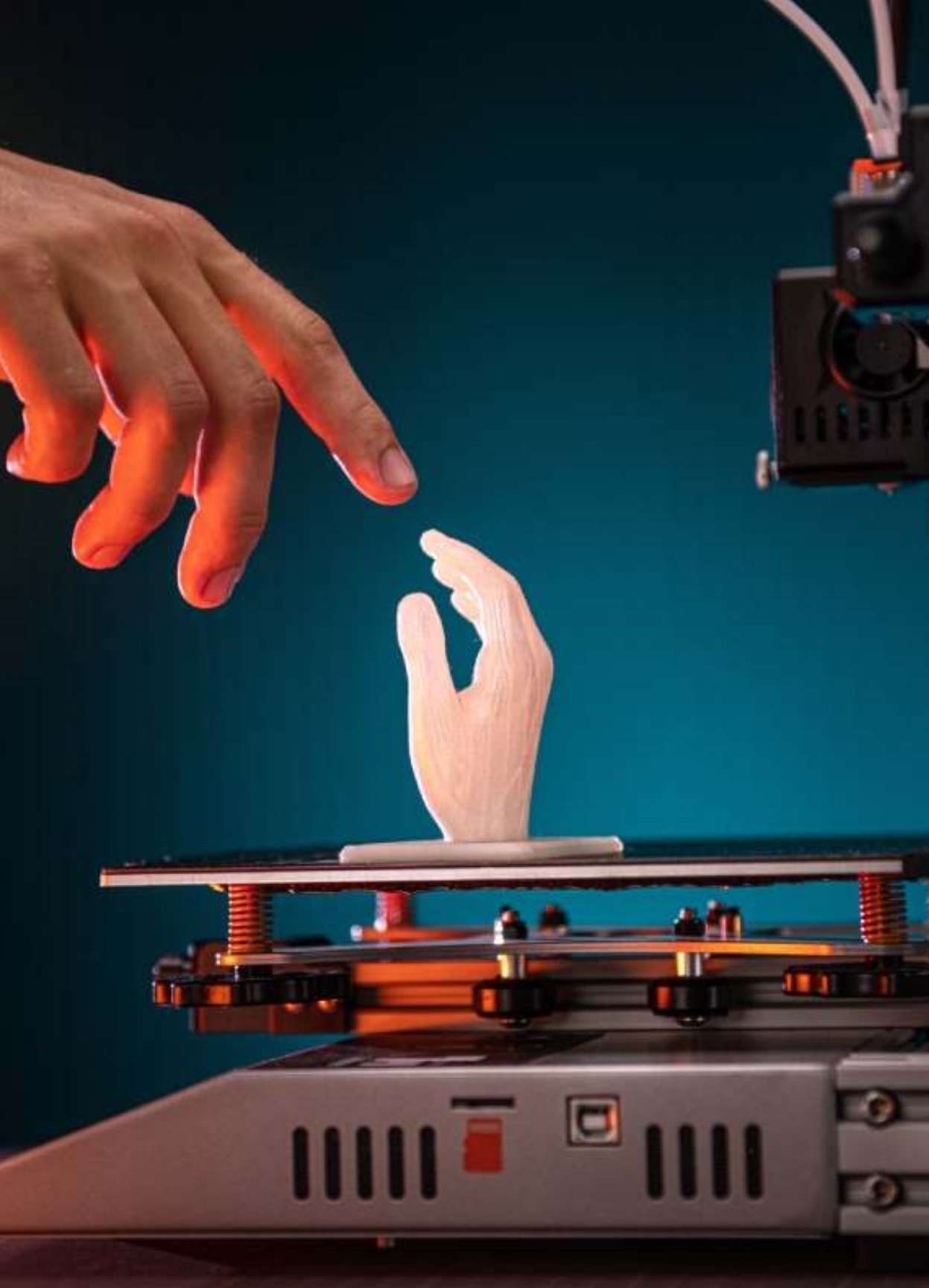
**Compósito
polimérico**

Revisão bibliográfica

Compósito polimérico:

Junção de dois ou mais materiais;

Melhoria de suas propriedades;

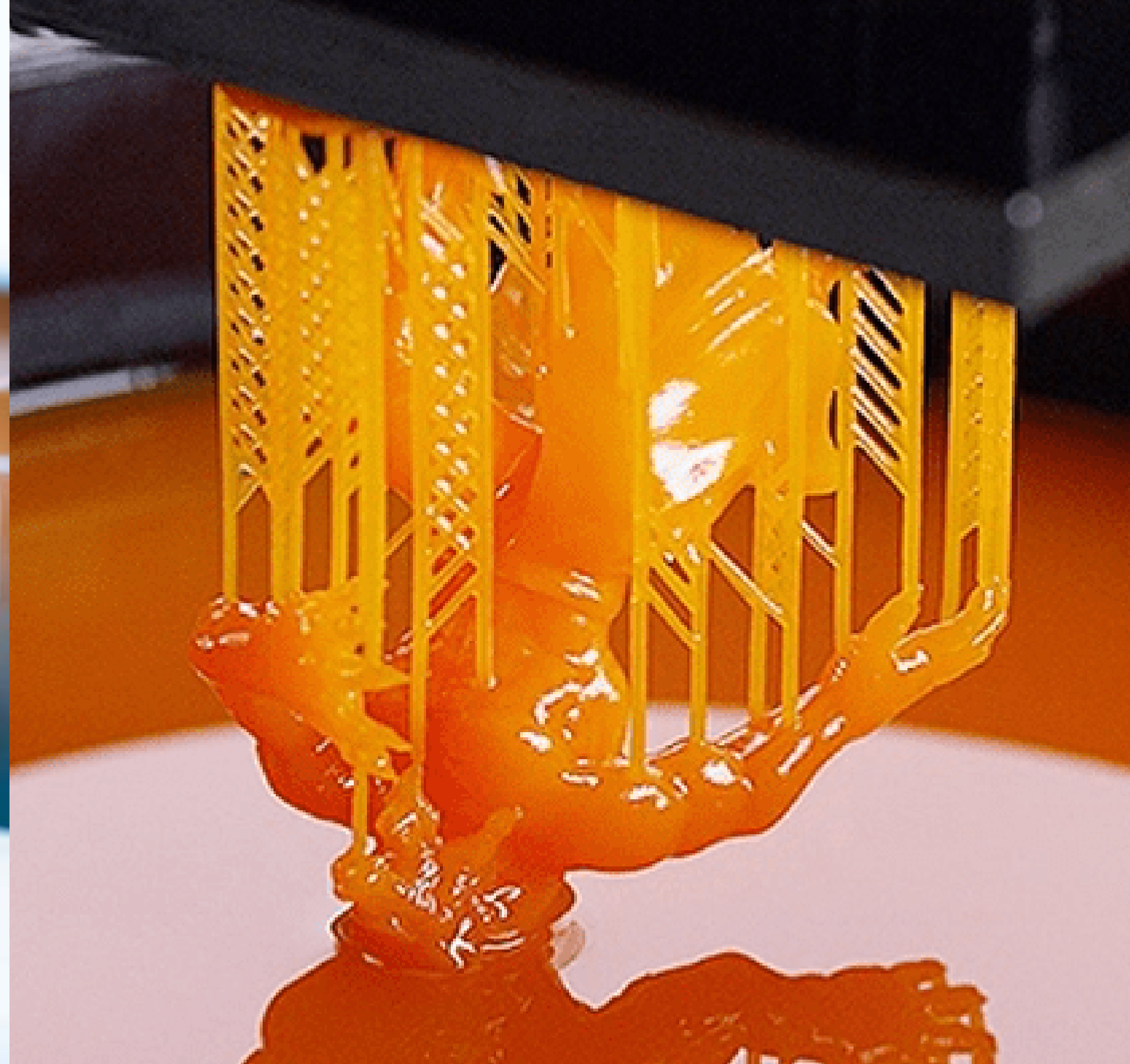


Impressoras 3D

- * *Impressora 3d por filamento*
- * *Sinterização seletiva a laser*
- * *Fusão de feixe de elétrons*
- * *Estereolitografia*

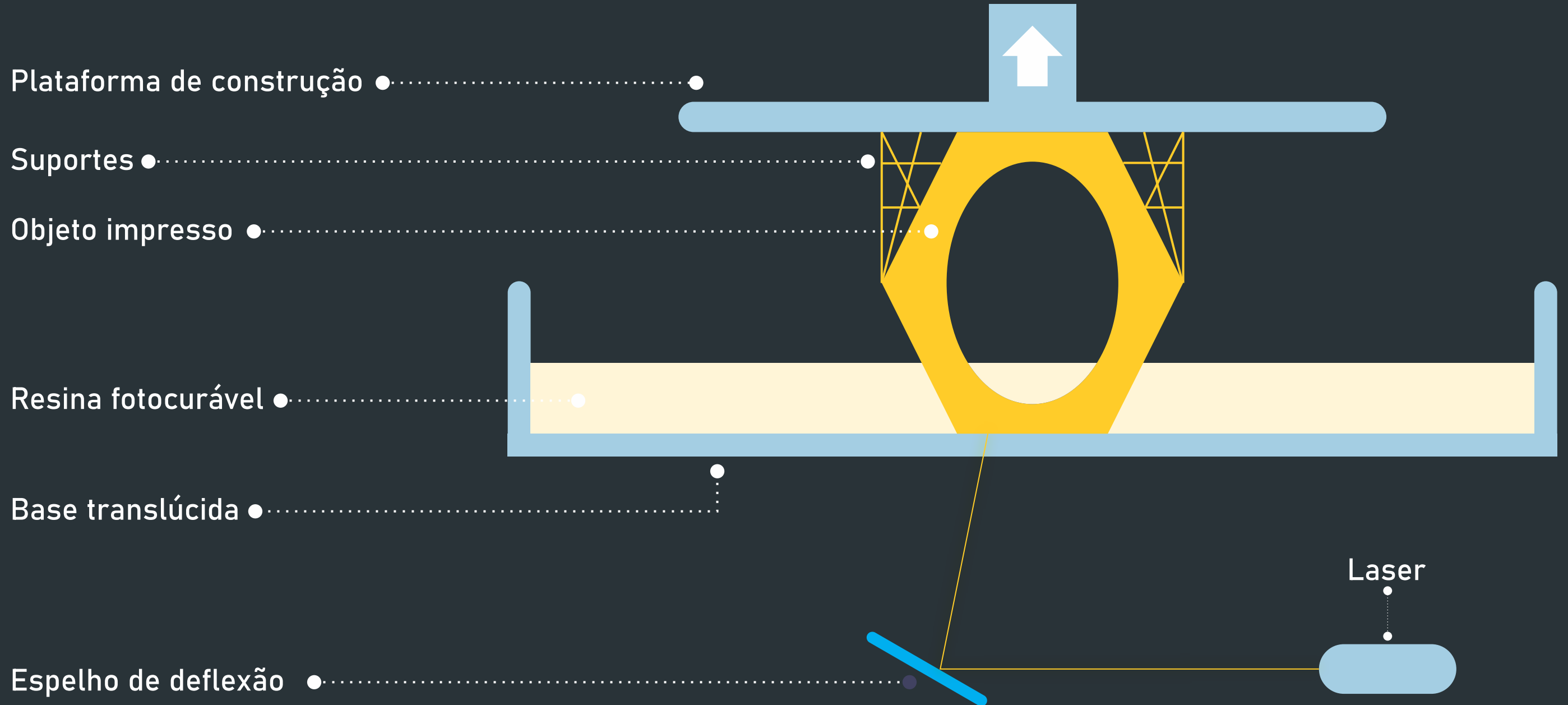


Filamento

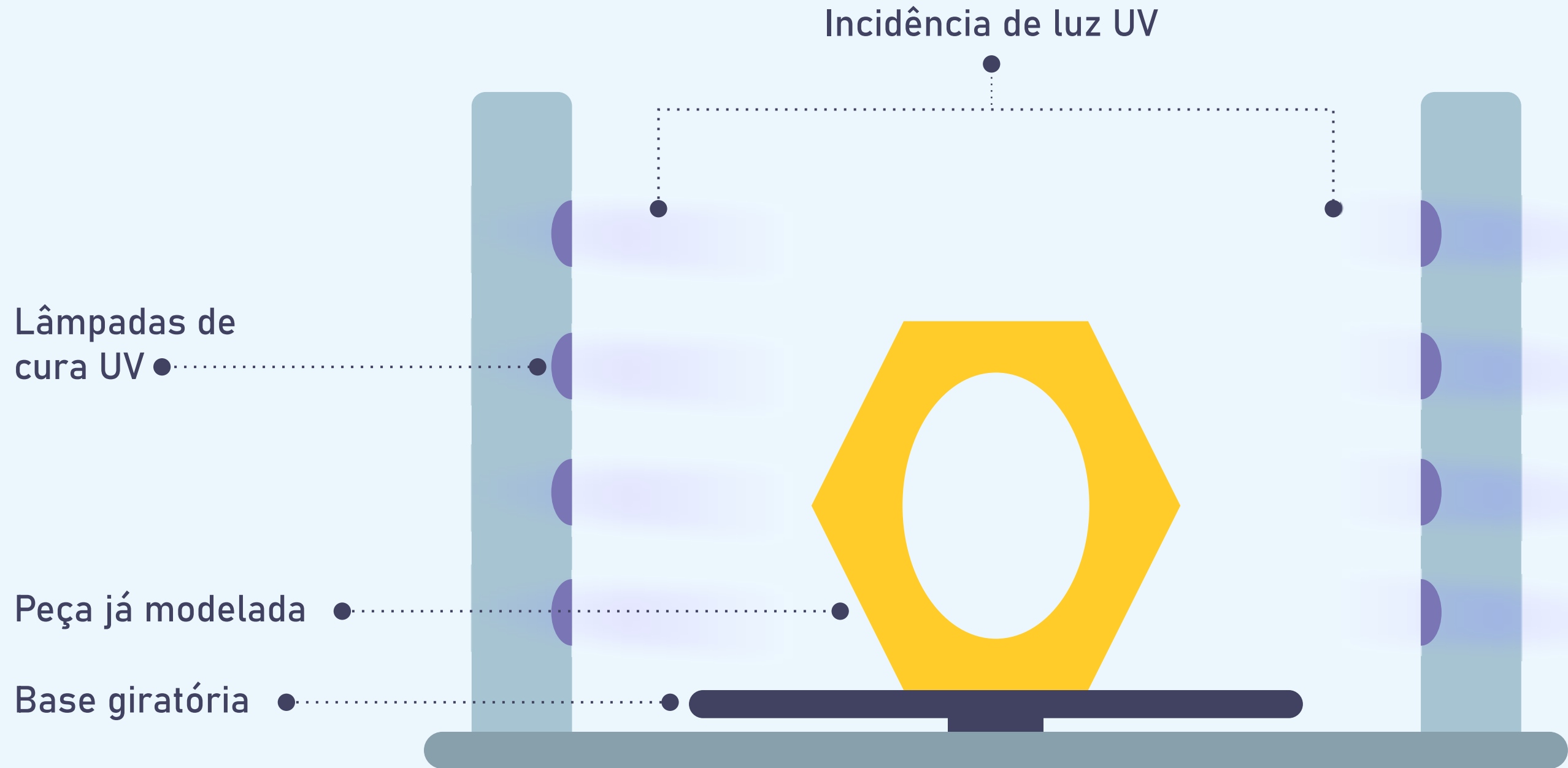


Estereolitográfica

Estereolitografia



Estereolitografia



Procedimentos experimentais (materiais)

Resina fotossensível

Fabricante: 3Dprime®

Composição	resina acrilada, catalizador UV e pigmentos.
Densidade	1,1g/ml
Tonalidade	Satandart Cinza Claro



Espinélio (MgAl₂O₄)

Fabricante: Saint Gobain®

Tamanho das partículas	1,50µm
Tamanho do cristalino	190nm
Densidade	3,56g/cm ³
Composição de 99,9% em peso de MgAl ₂ O	



Métodos (fluxograma)

Fluxograma das atividades do compósito espinélio-resina

1
Caracterização do pó de espinélio (MEV e DRX).

2
Moagem

3
Caracterização do pó de espinélio moído (MEV).

4
Estabelecer os corpos de prova
Formato estabelecido levando em consideração a forma que às máquinas de ensaios solicitam.

5
Homogeneização do espinélio com resina em teores de 3% e 5%.

6
Impressão 3D

7
Processo de cura.

8
Submeter aos ensaios de: tração, flexão e dureza shore.



Caracterização do pó de espinélio

difração de raios X:

utilizando o difratômetro modelo XRD-6100 da marca SHIMADZU®.

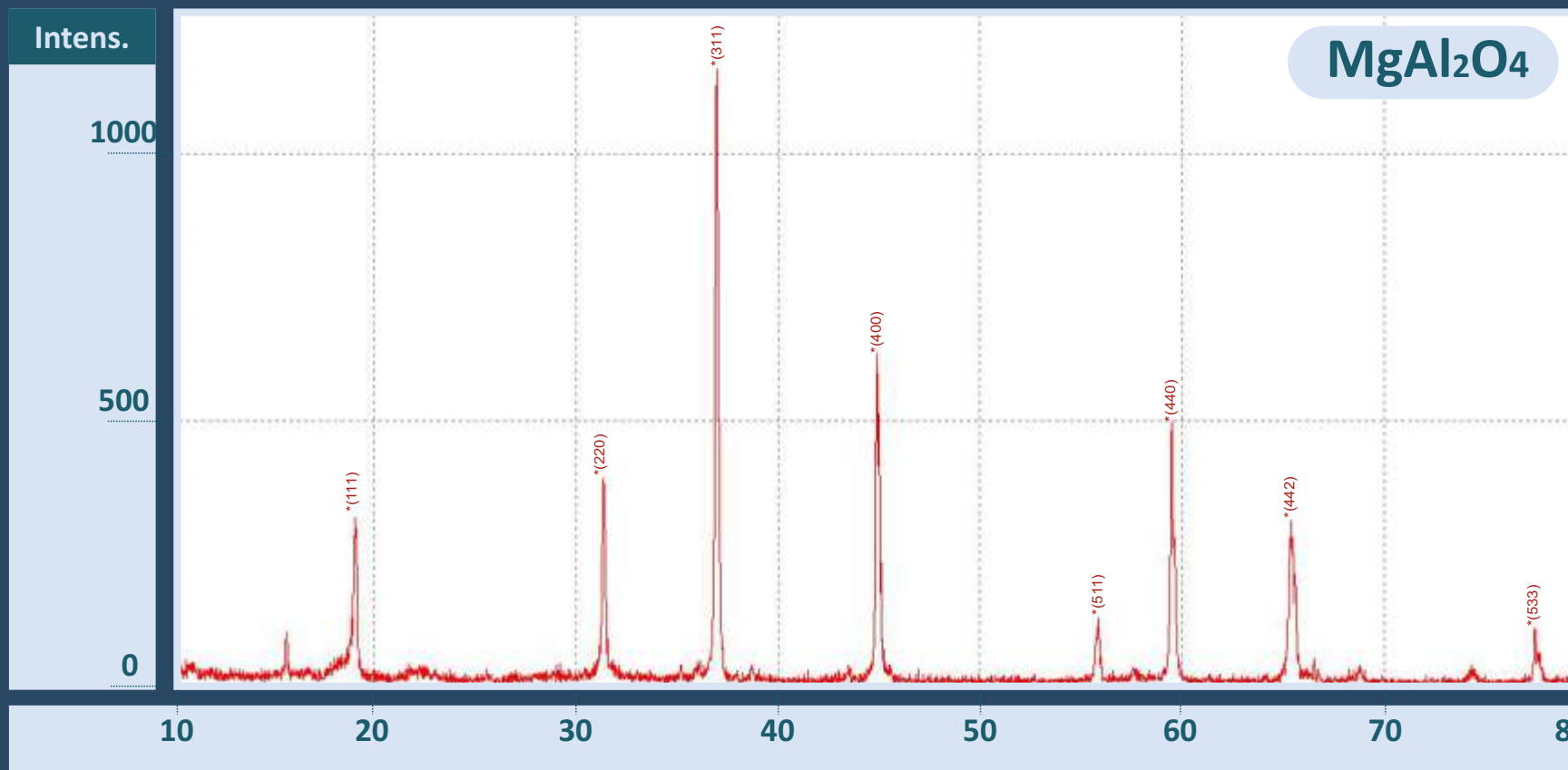


Morfologia

*Microscopia eletrônica de varredura (MEV)
HITACHI® TM-3000 do laboratório do UniFoa*

Caracterização DRX

Difratograma de raio x



Com a análise cristalográfica do pó de espinélio, identificou-se a matéria prima com alta cristalinidade em picos especificadamente de $MgAl_2O_4$.



Moagem



Moinho/misturador modelo FRITSCH® Pulverisette P-5:

- * Vasos de carbeto de tungstênio com capacidade para 225ml;
- * Esferas de carbeto de tungstênio com 10mm de diâmetro;
- * Velocidade de rotação de 250rpm;
- * Relação da massa das esferas para a massa de pó de espinélio 6:1;
- * Tempo de moagem de 60 minutos.

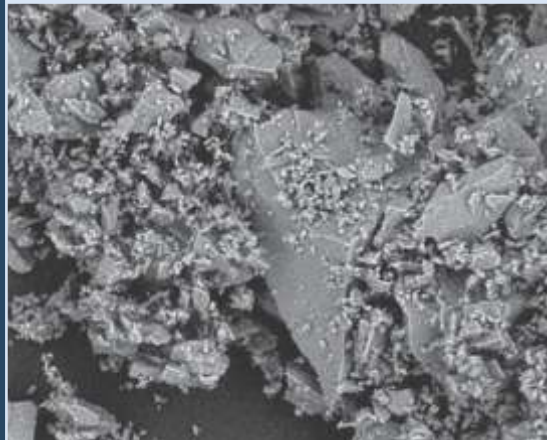
Comparação da moagem

Comparação visual das imagens do MEV com espinélio sem moagem e com moagem

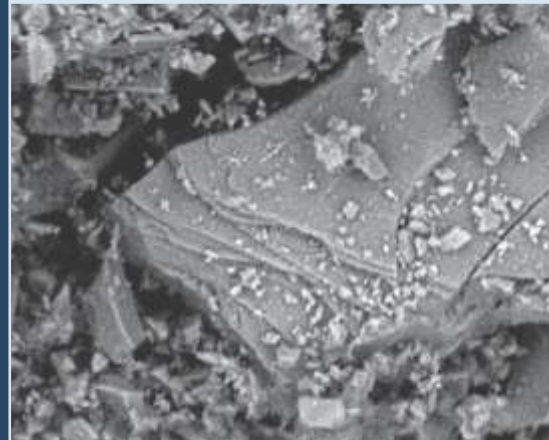
300 X sem moagem



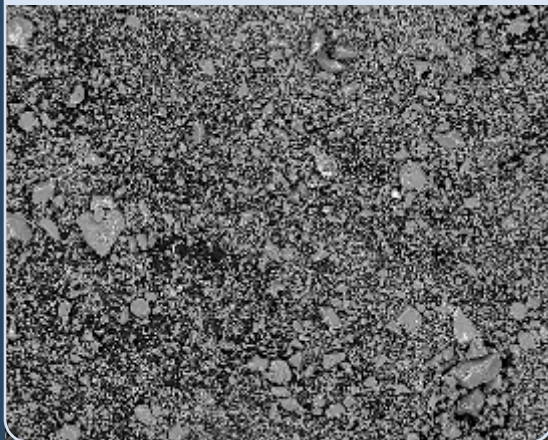
800 X sem moagem



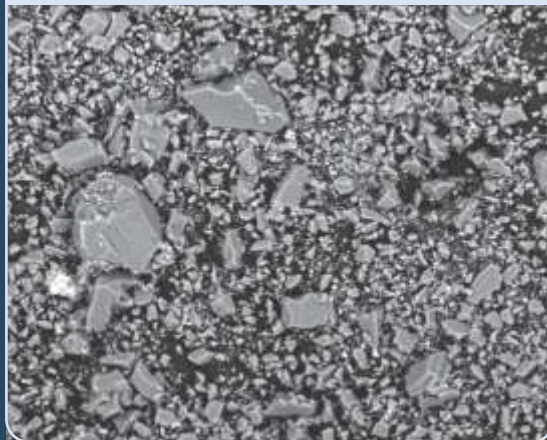
1.800 X sem moagem



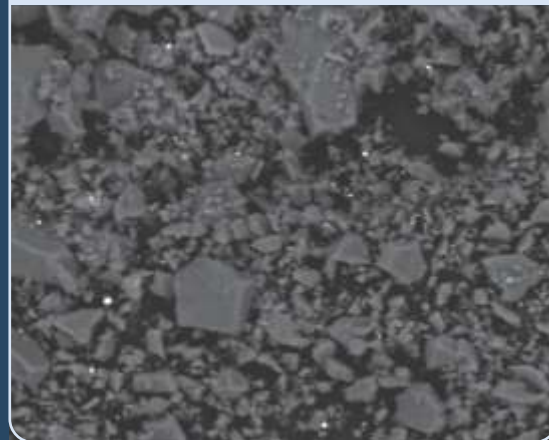
300 X com moagem



800 X com moagem



1.800 X com moagem

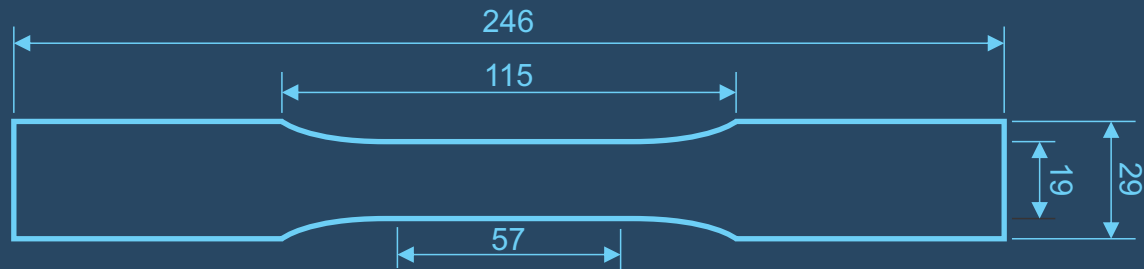


Moagem

Corpos de prova

Corpo de prova para tração - ASTM D638 III

Vista superior

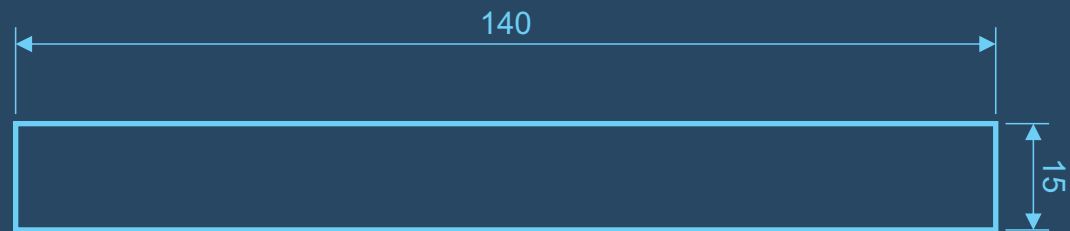


Vista frontal



Corpo de prova para flexão - ASTM D790

Vista superior



Vista frontal



ASTM D638 (III)

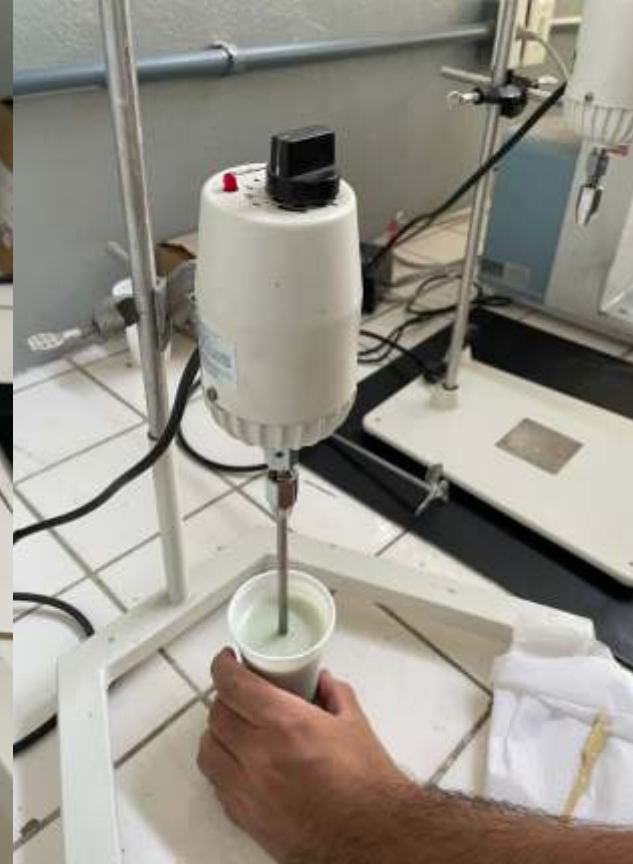
ATMS D790.

90ml - 3%

Proporções

150ml - 5%

Material disponível	Corpos de prova compósito espinélio-resina		Gasto total
COMPÓSITO	COM MOAGEM DO ESPINÉLIO		
Quantidade total de resina: 2,5kg	5%	tração (2 corpos de prova) flexão (2 corpos de prova)	8 unidades
Quantidade total de espinélio: 830g	3%	tração (2 corpos de prova) flexão (2 corpos de prova)	
Compósito espinélio-resina (5%): 150ml de resina para 24,5g de espinélio	SEM MOAGEM DO ESPINÉLIO		
Compósito espinélio-resina (3%): 90ml de resina para 17,7g de espinélio	5%	tração (2 corpos de prova) flexão (2 corpos de prova)	8 unidades
	3%	tração (2 corpos de prova) flexão (2 corpos de prova)	
	16 unidades de corpos de prova		Quantidade total de resina: 1.920ml (2,11kg)
			Quantidade total de espinélio moído: 156,8g
			Quantidade total de espinélio não moído: 156,8g

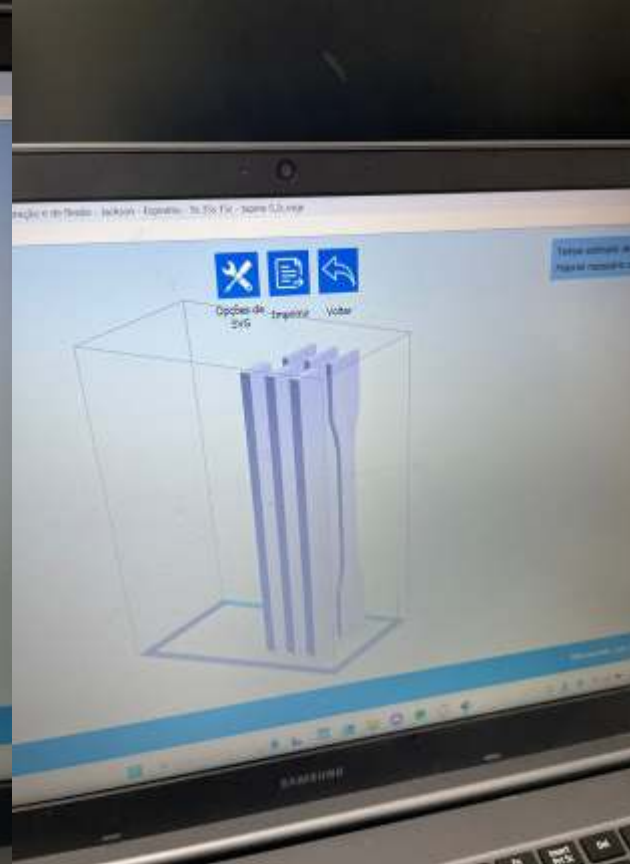
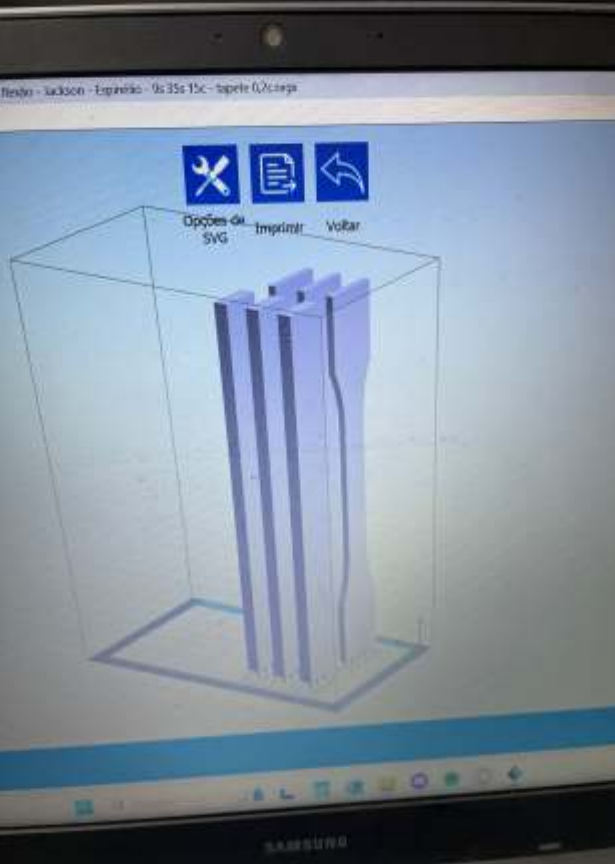


Homogeneização

Misturador rotativo Fisatom®
60 minutos.



Impressão 3D por estereolitografia



FLASHFORGE 3D PRINTER DONE 3D®

Programa FlashDLPrint.

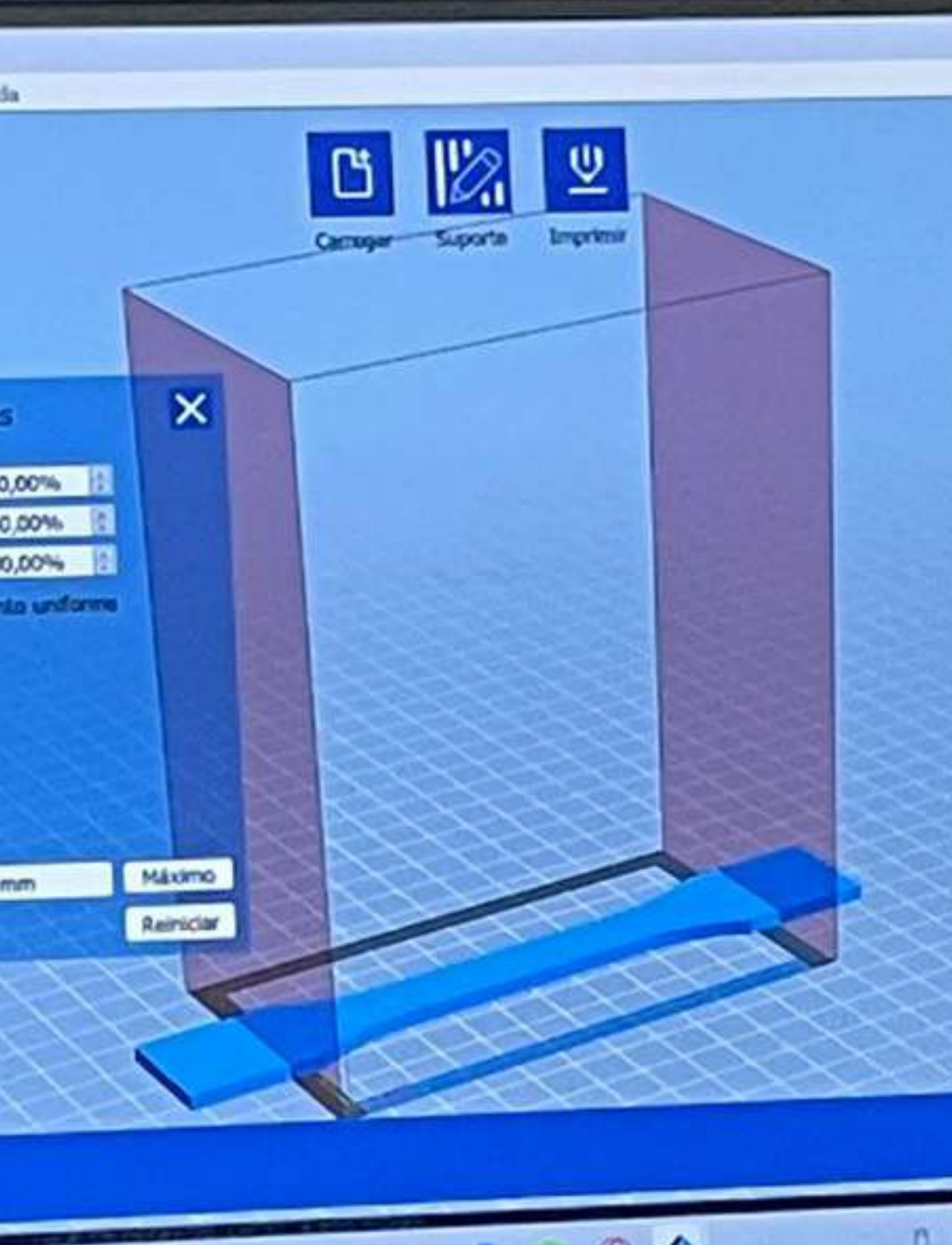
Orientação das peças: vertical



Impressão 3D por estereolitografia

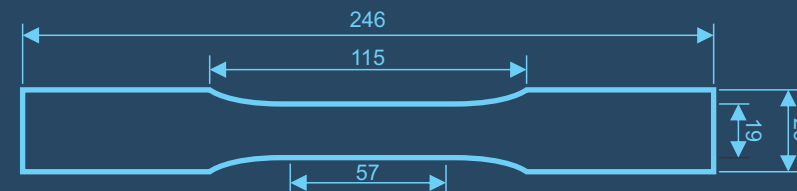
15 horas de impressão.

Corpos de prova



Corpo de prova para tração - ASTM D638 III

Vista superior

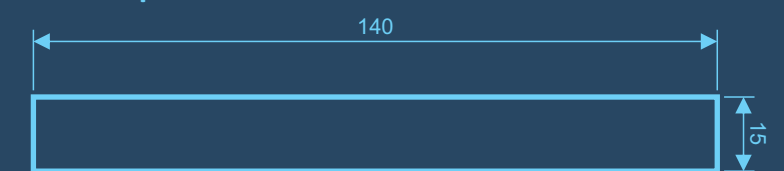


Vista frontal



Corpo de prova para flexão - ASTM D790

Vista superior



Vista frontal

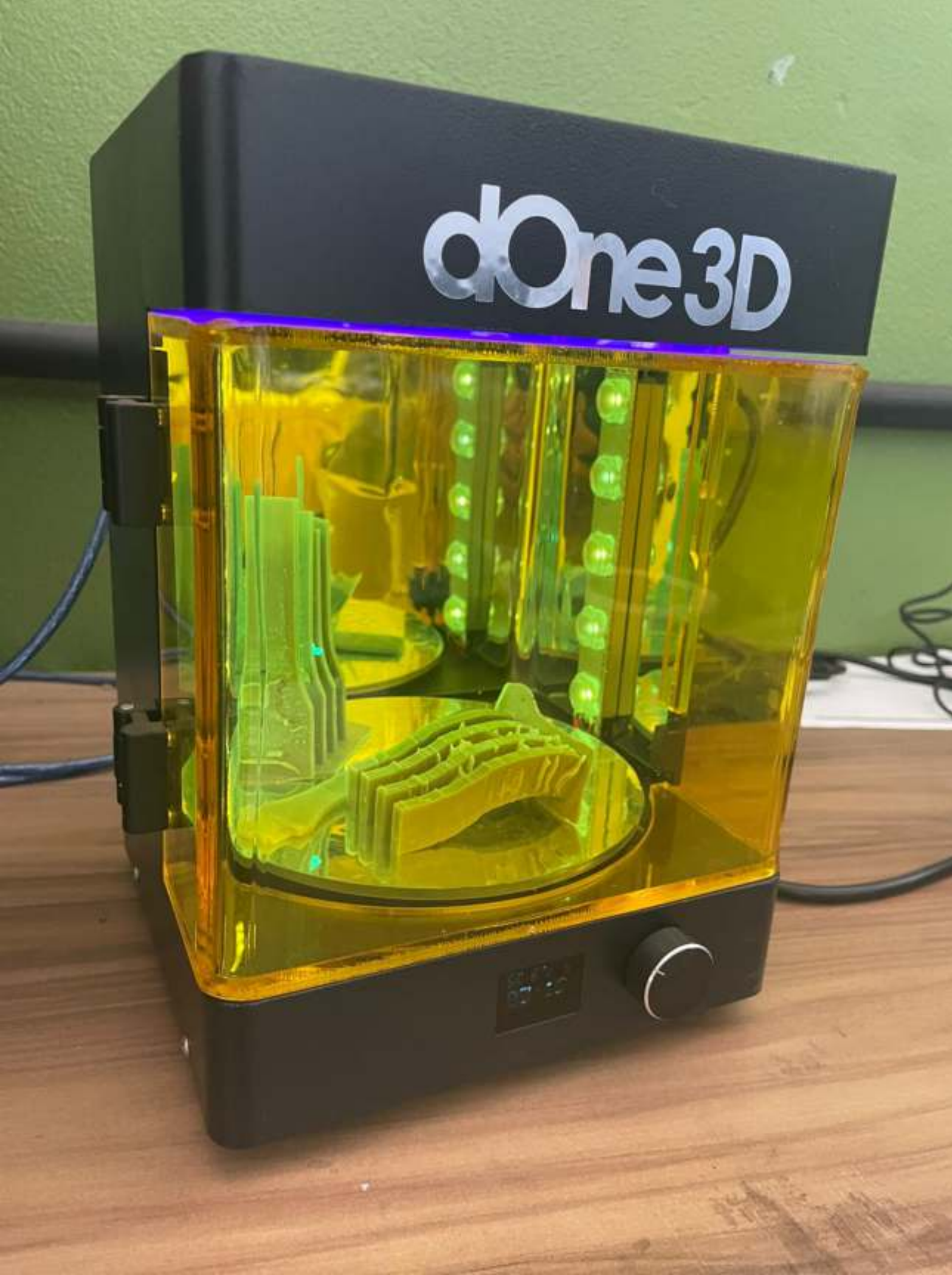


68% do seu tamanho original.



Impressão 3D por estereolitografia

35 minutos de impressão



Processo de cura

Resina 3D Prime

Tempo de exposição por camada: ~2s

Tempo de exposição da base: de 8 a 12x o tempo de cura por camada;

Quantidade de camadas de base: 5 a 8

Comprimento de onda UV: 380 à 405nm.

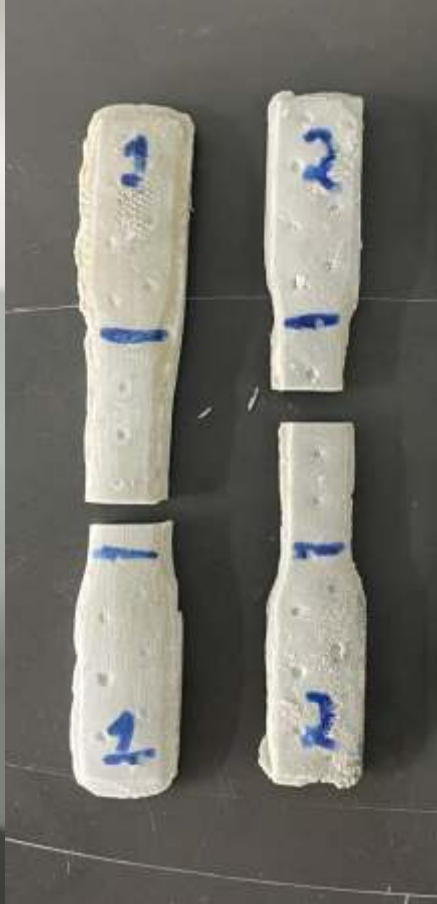
Caracterizações



Tração

EMIC DL-10000.

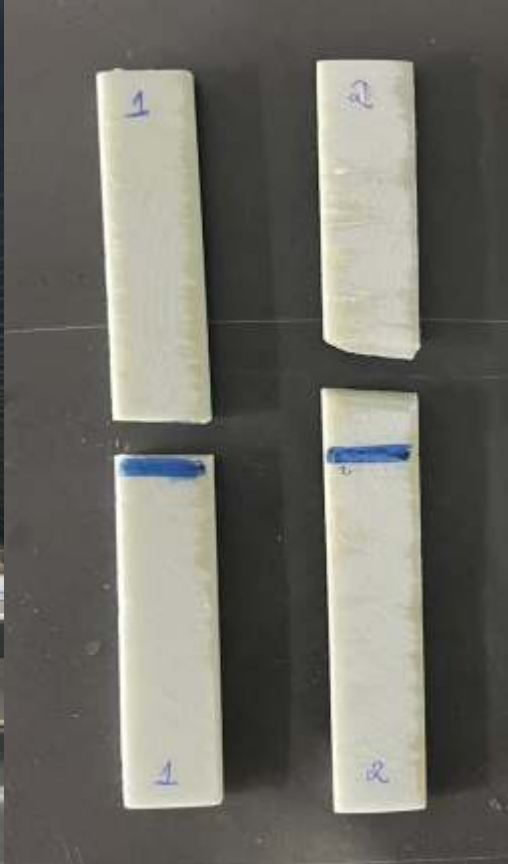
célula de carga de 5kN, a uma velocidade de 3 mm/min.



Caracterizações



Flexão



EMIC DL-10000.

célula de carga de 100kN, a uma velocidade de 3 mm/min.

Caracterizações



Dureza Shore D

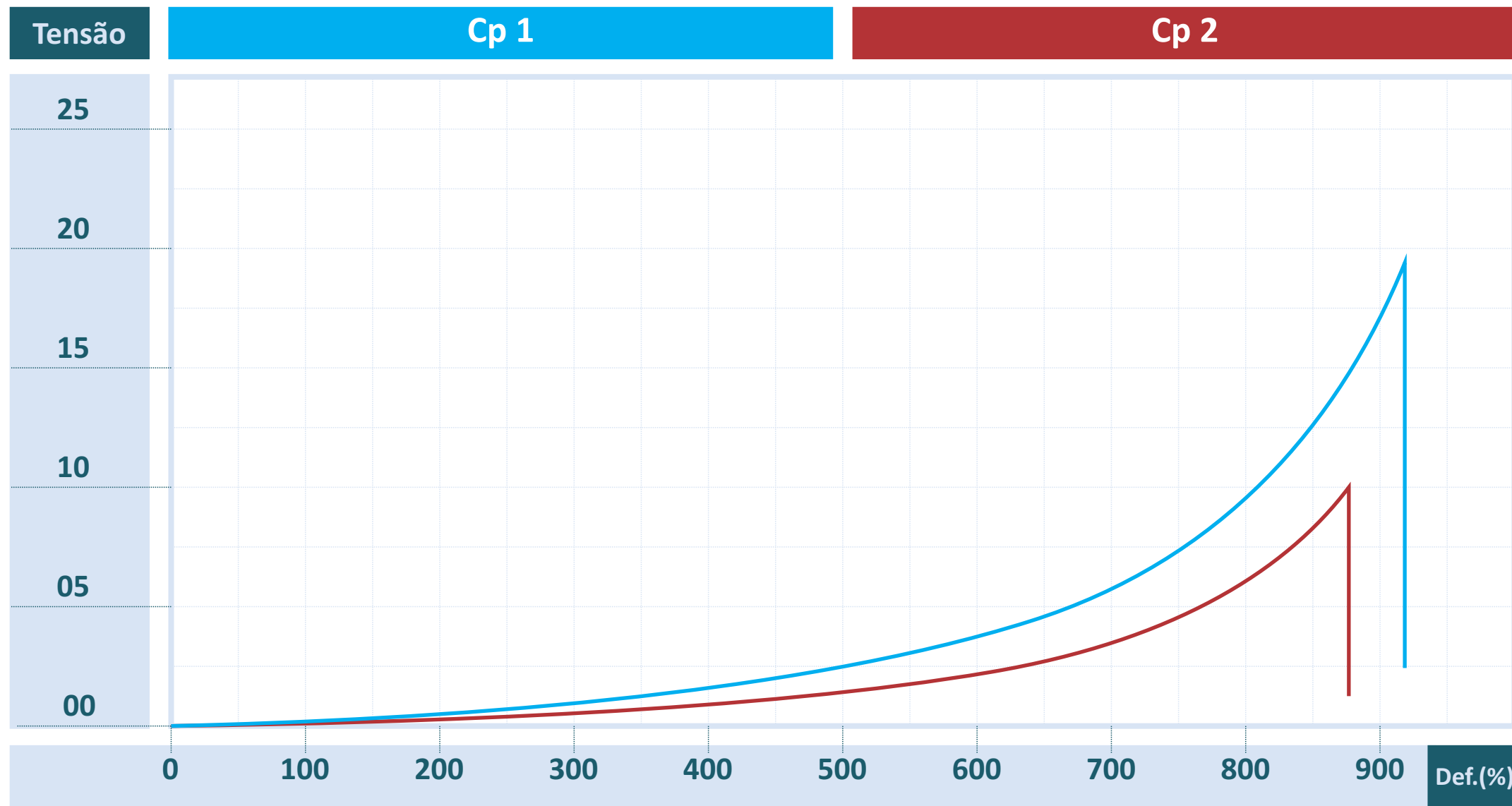
Shore D-TH 210, portátil.

10X

Resultados e Discussão

Ensaio de tração

Resina pura



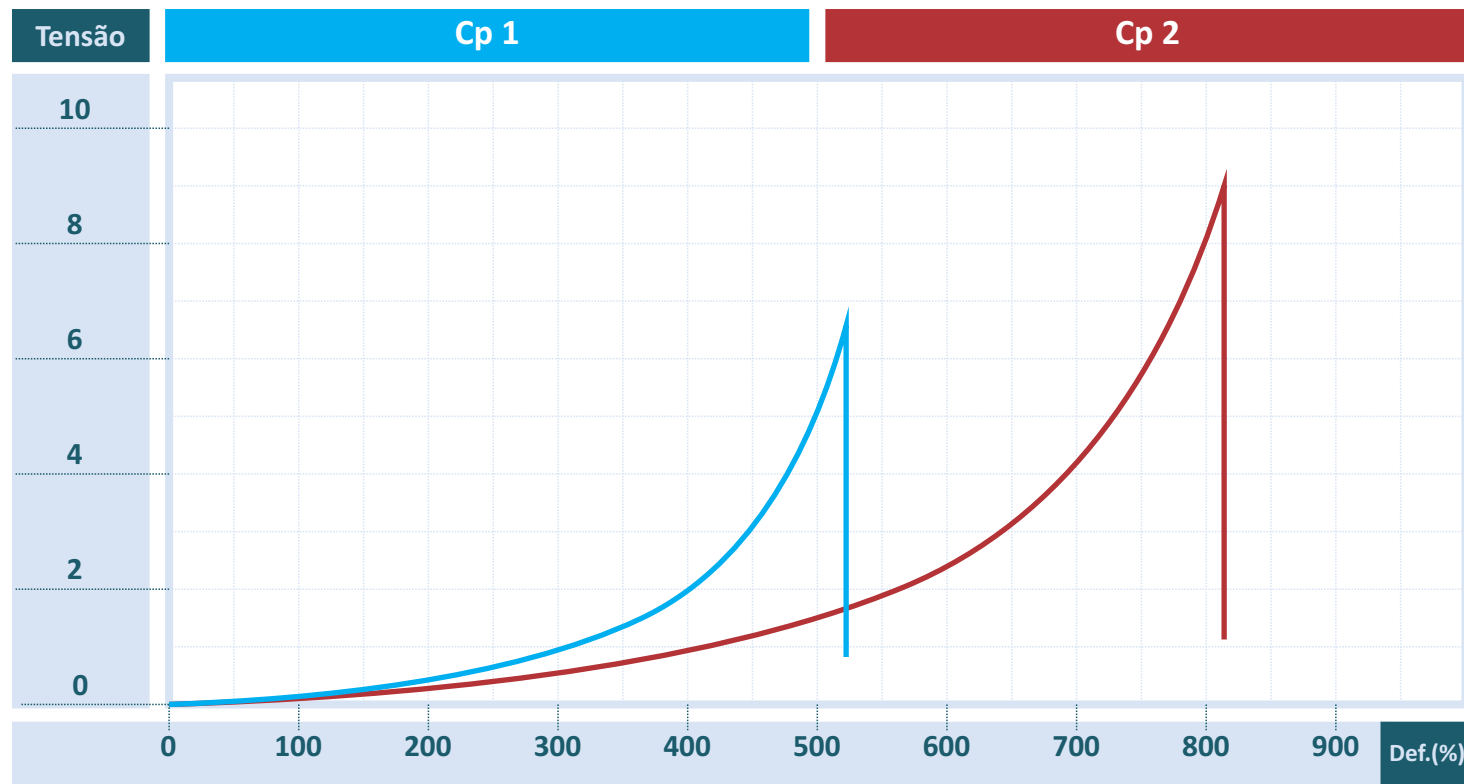
Cp 1: 20,01 MPa.

Cp 2: 10,05 MPa.

Resultados e Discussão

Ensaio de tração

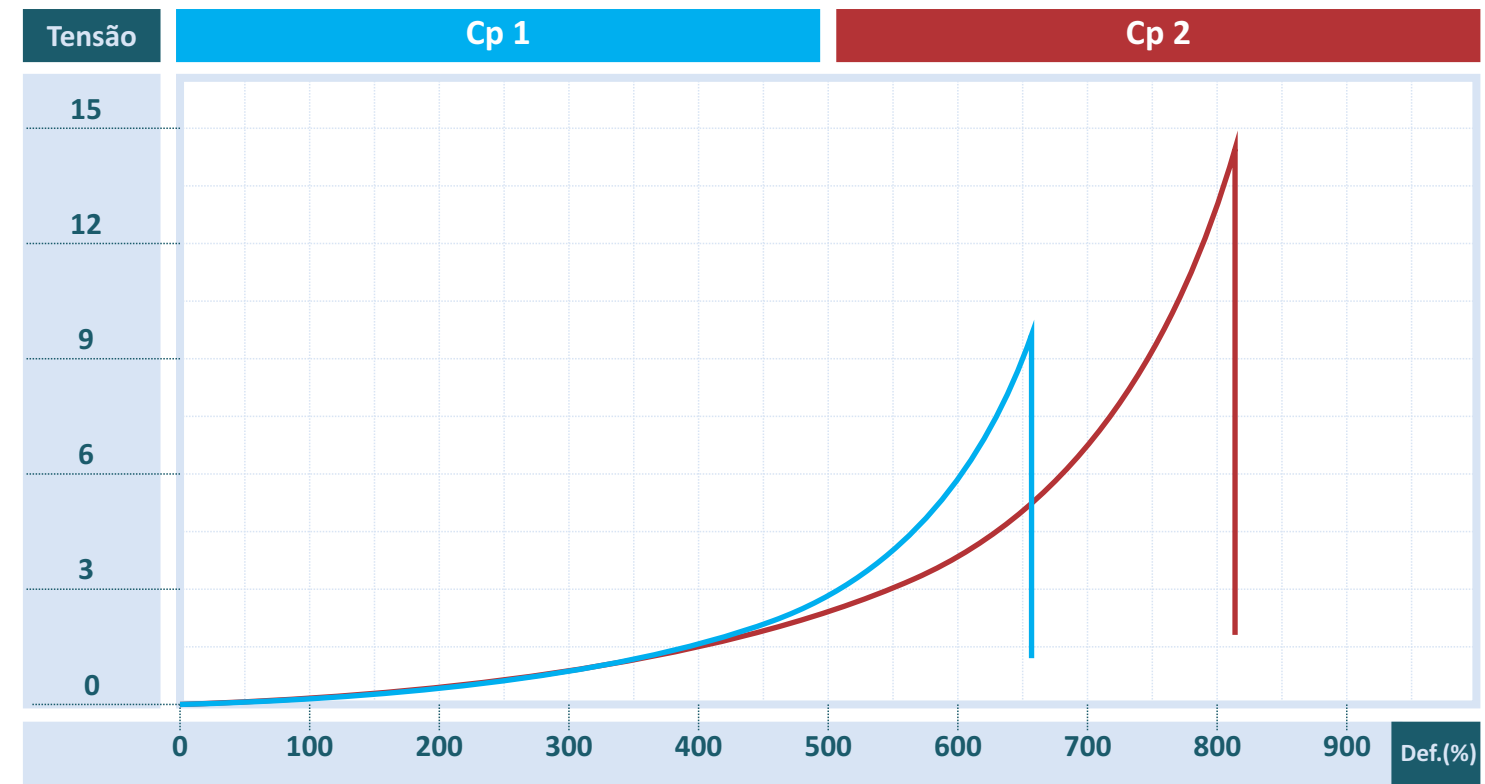
3% de esp. não moído



Cp 1: 06,38 MPa.

Cp 2: 08,97 MPa.

3% de esp. moído



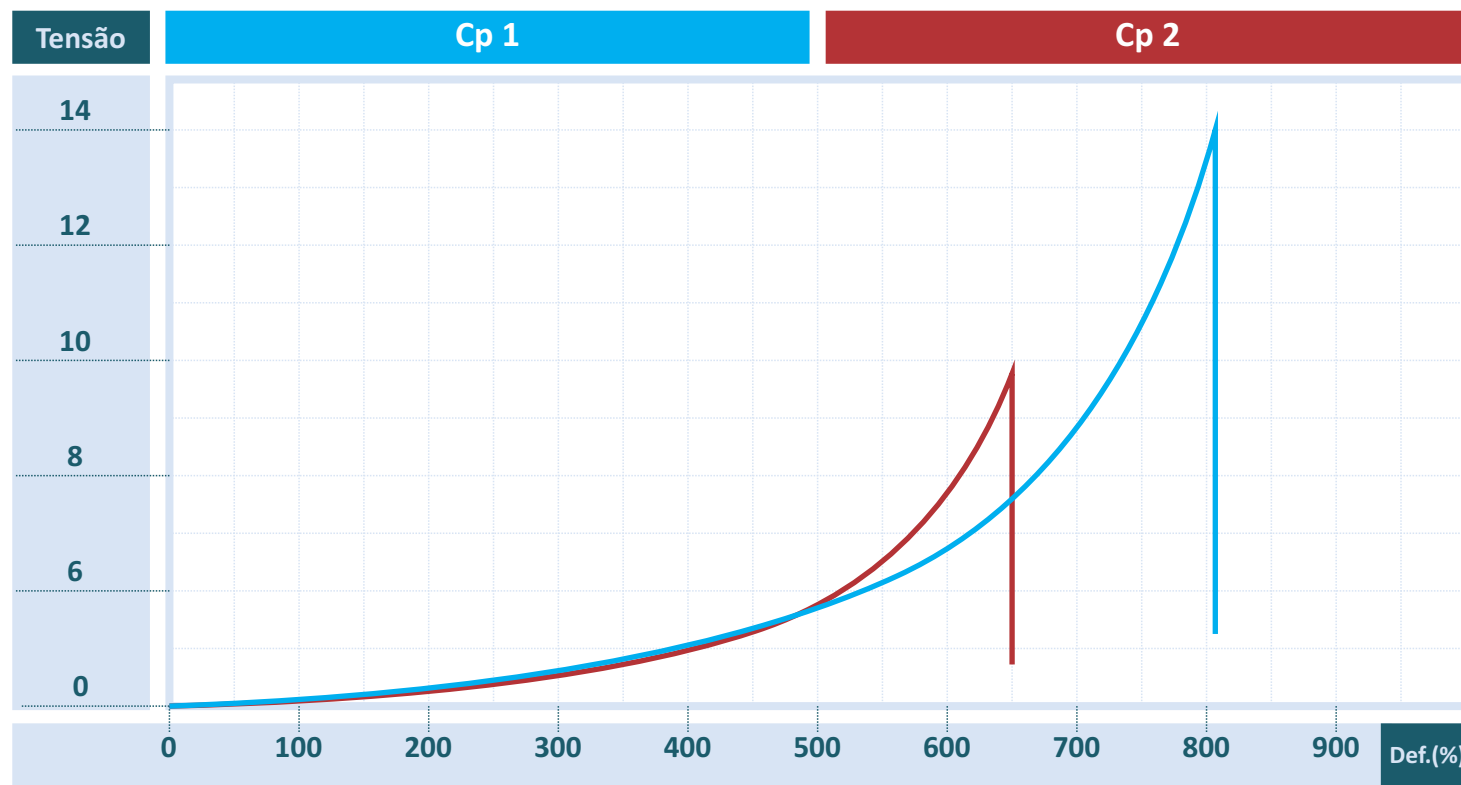
Cp 1: 09,53 MPa.

Cp 2: 14,41 MPa.

Resultados e Discussão

Ensaio de tração

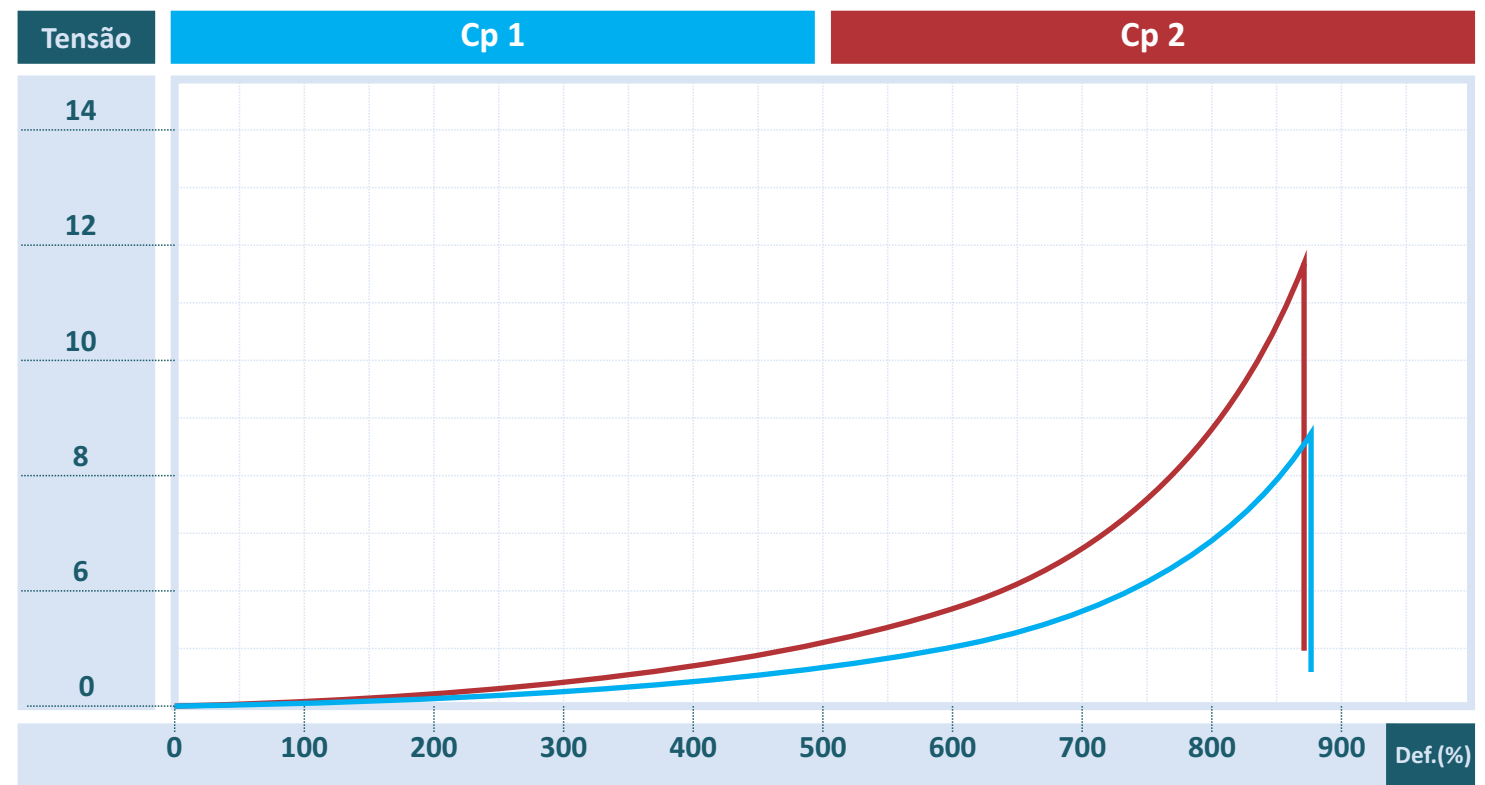
5% de esp. não moído



Cp 1: 14,17 MPa.

Cp 2: 09,76 MPa.

5% de esp. moído



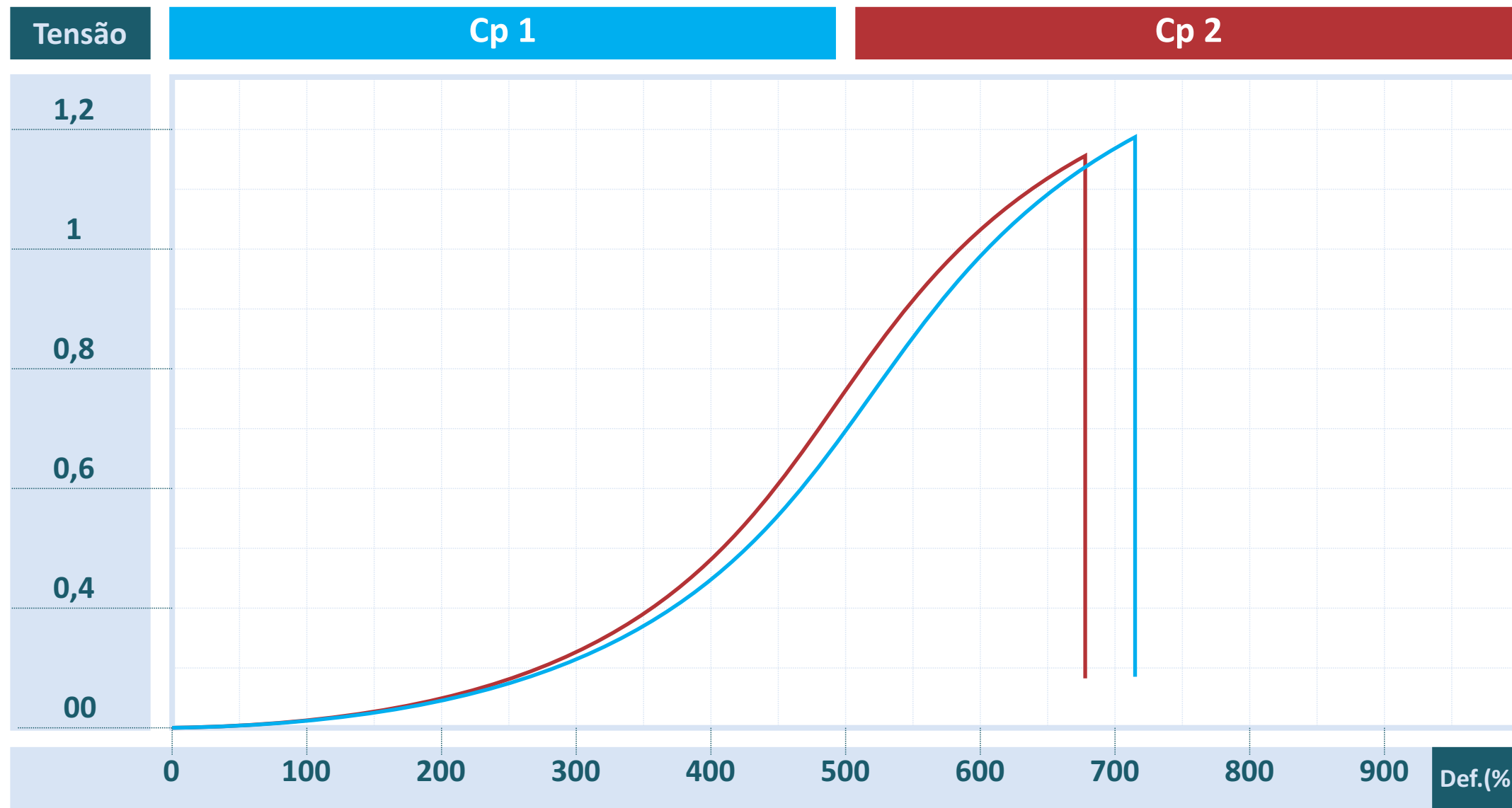
Cp 1: 08,45 MPa.

Cp 2: 12,48 MPa.

Resultados e Discussão

Ensaio de Flexão

Resina pura



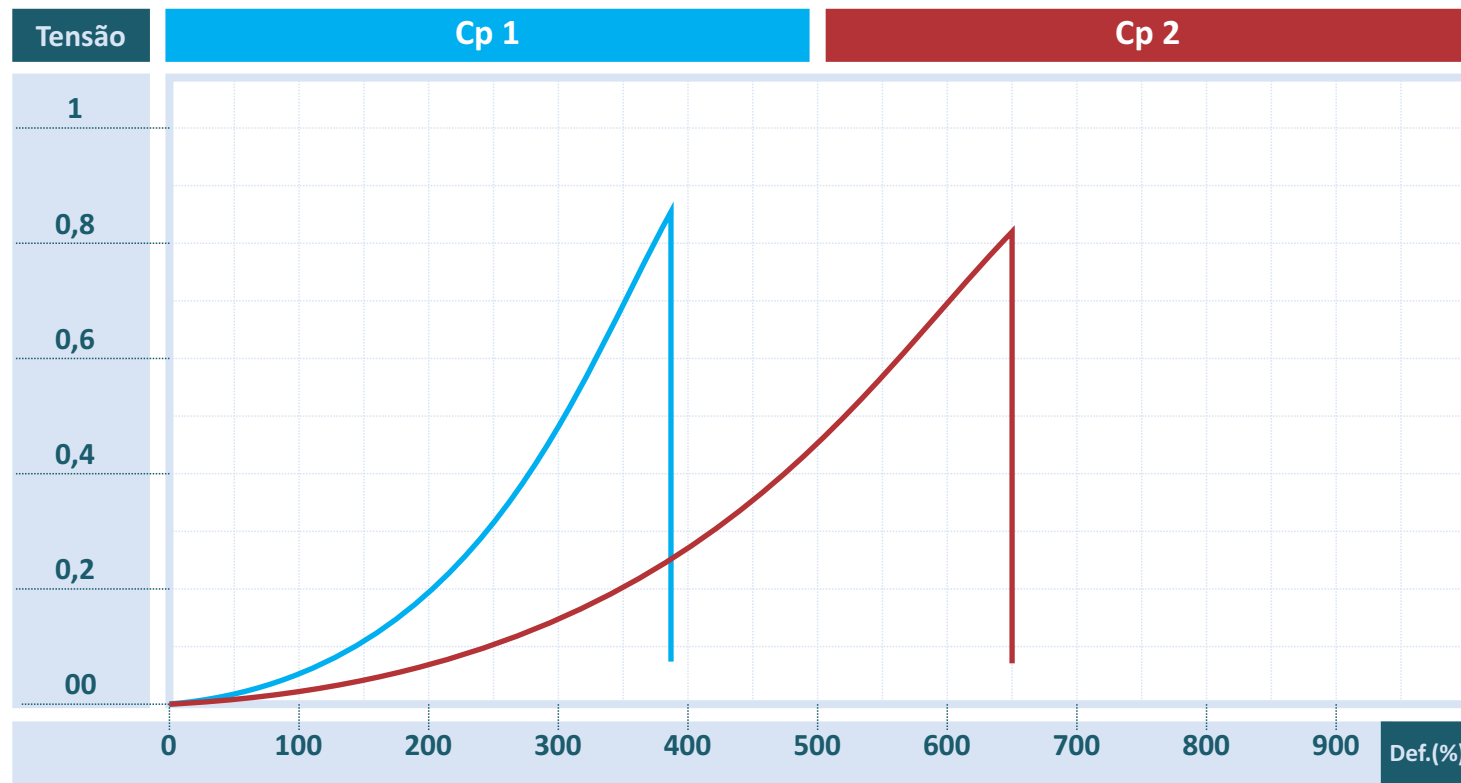
Cp 1: 01,17 MPa.

Cp 2: 01,06 MPa.

Resultados e Discussão

Ensaio de Flexão

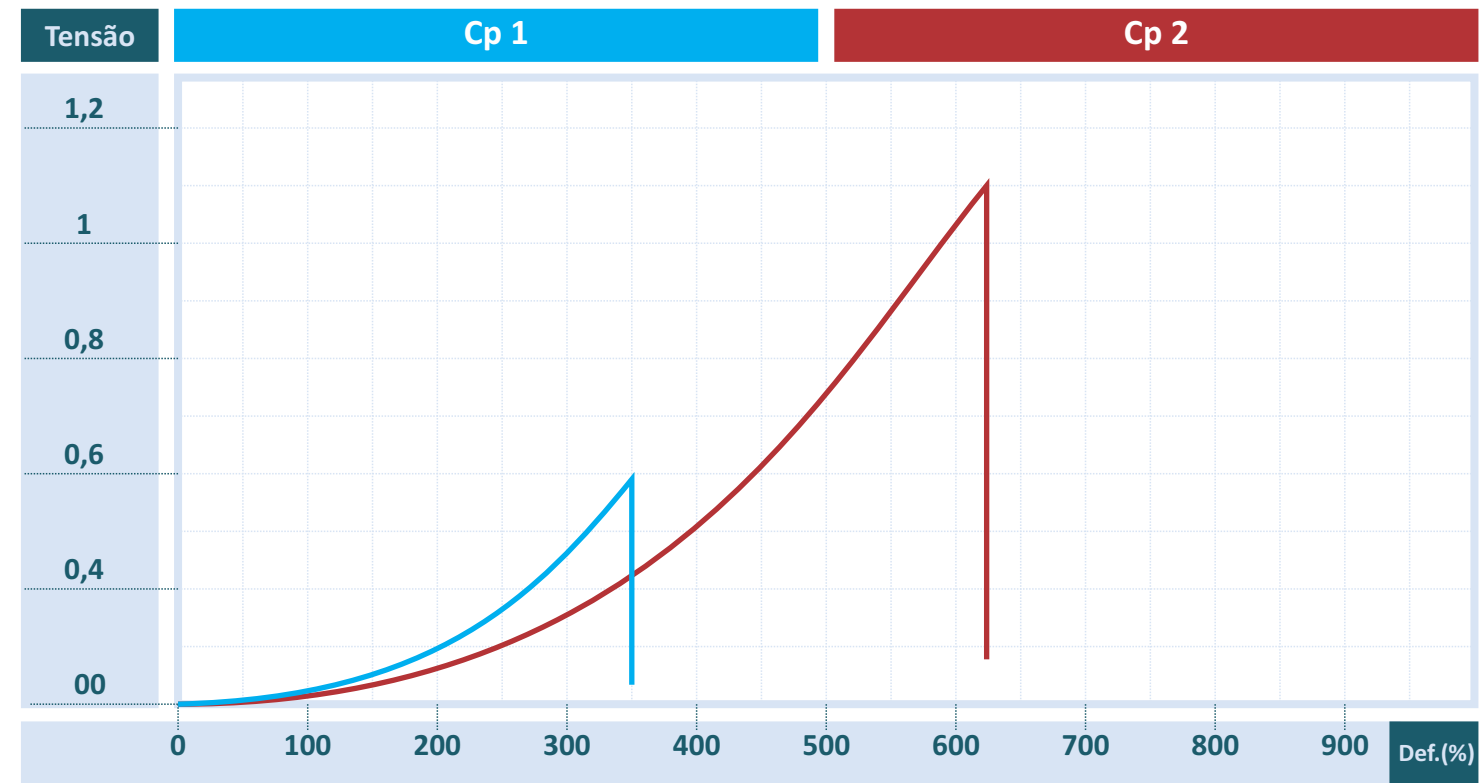
3% de esp. não moído



Cp 1: 00,84 MPa.

Cp 2: 00,82 MPa.

3% de esp. moído



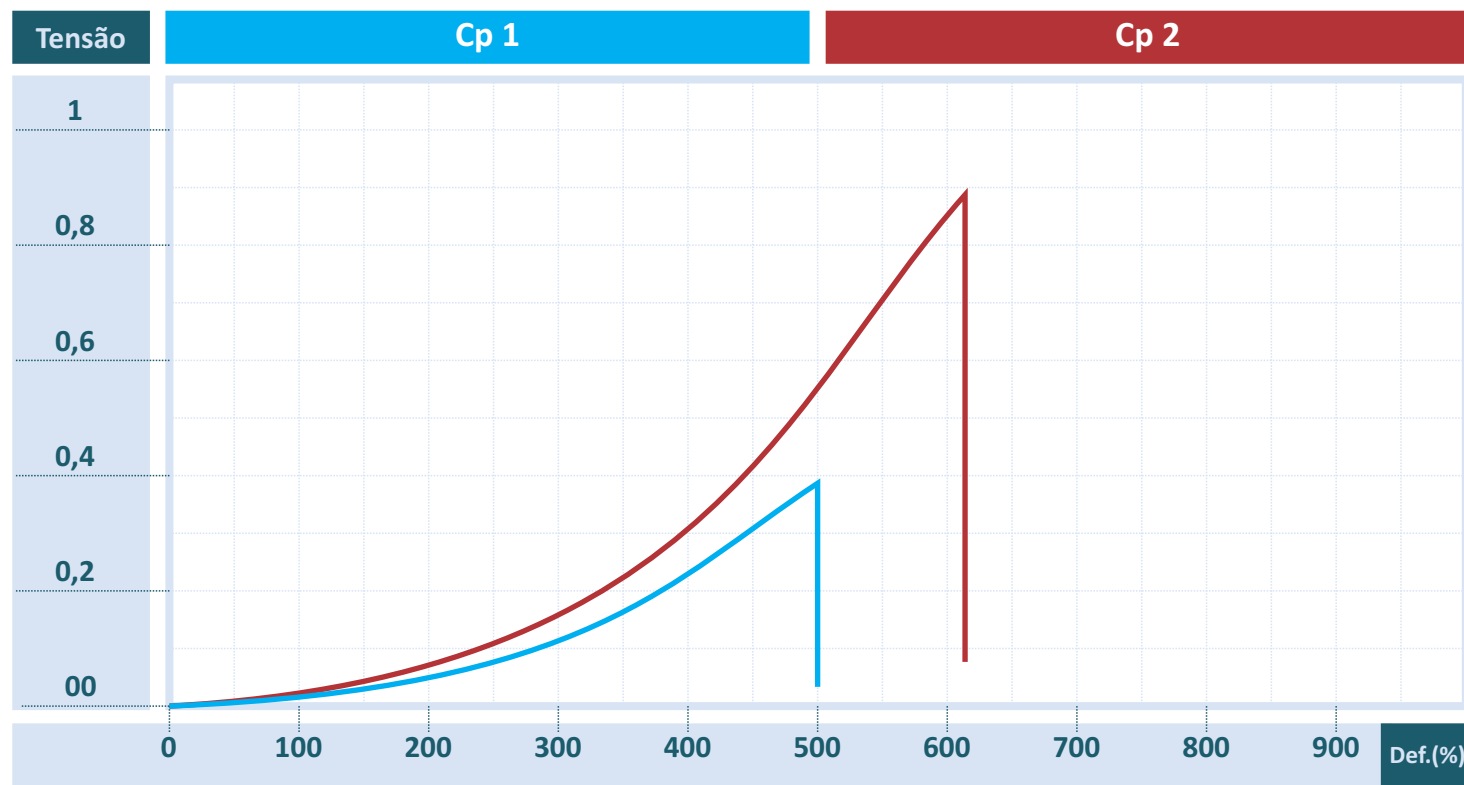
Cp 1: 0,57 MPa.

Cp 2: 1,15 MPa.

Resultados e Discussão

Ensaio de Flexão

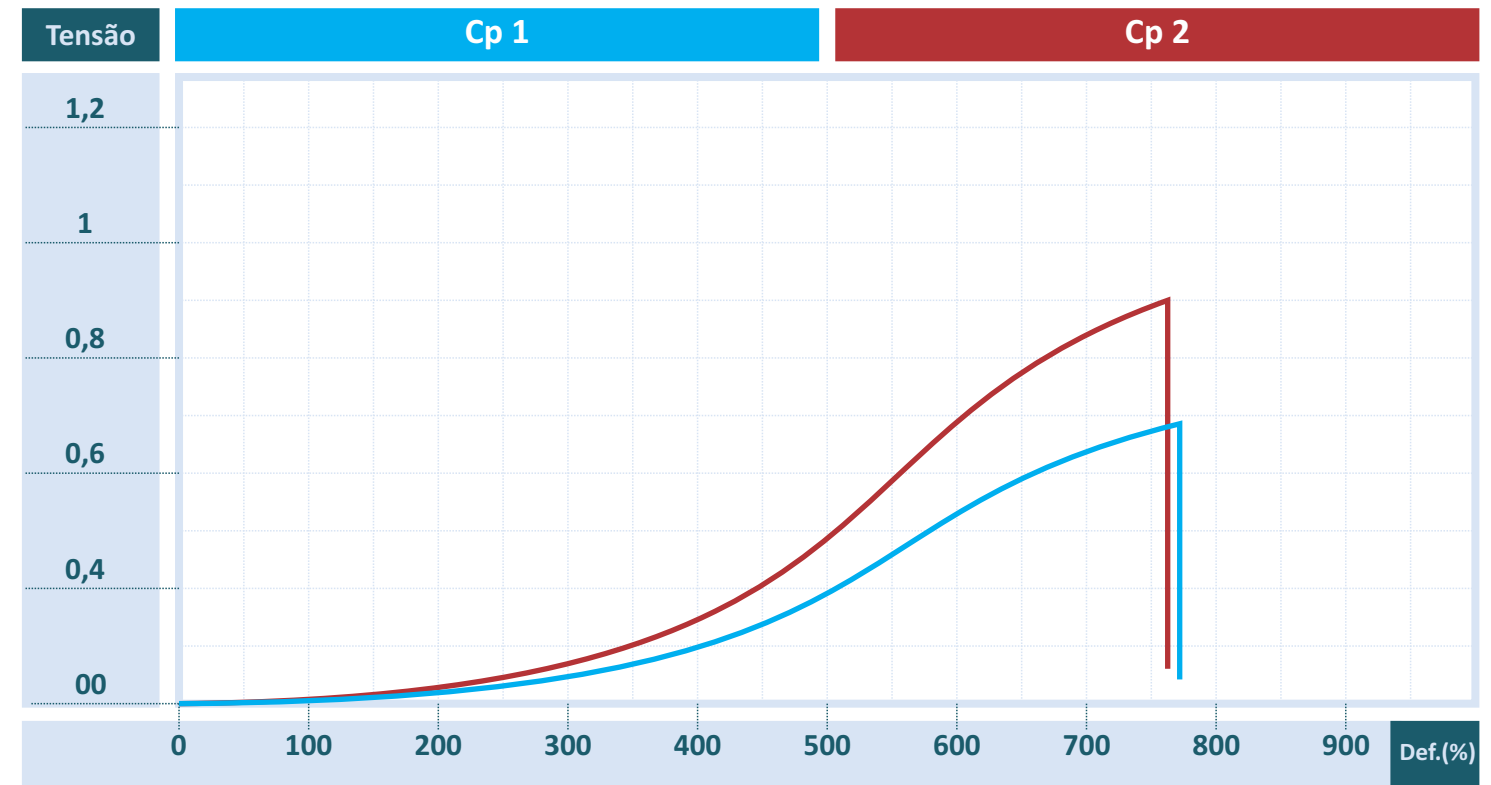
5% de esp. não moído



Cp 1: 00,33 MPa.

Cp 2: 00,90 MPa.

5% de esp. moído



Cp 1: 00,68 MPa.

Cp 2: 00,93 MPa.

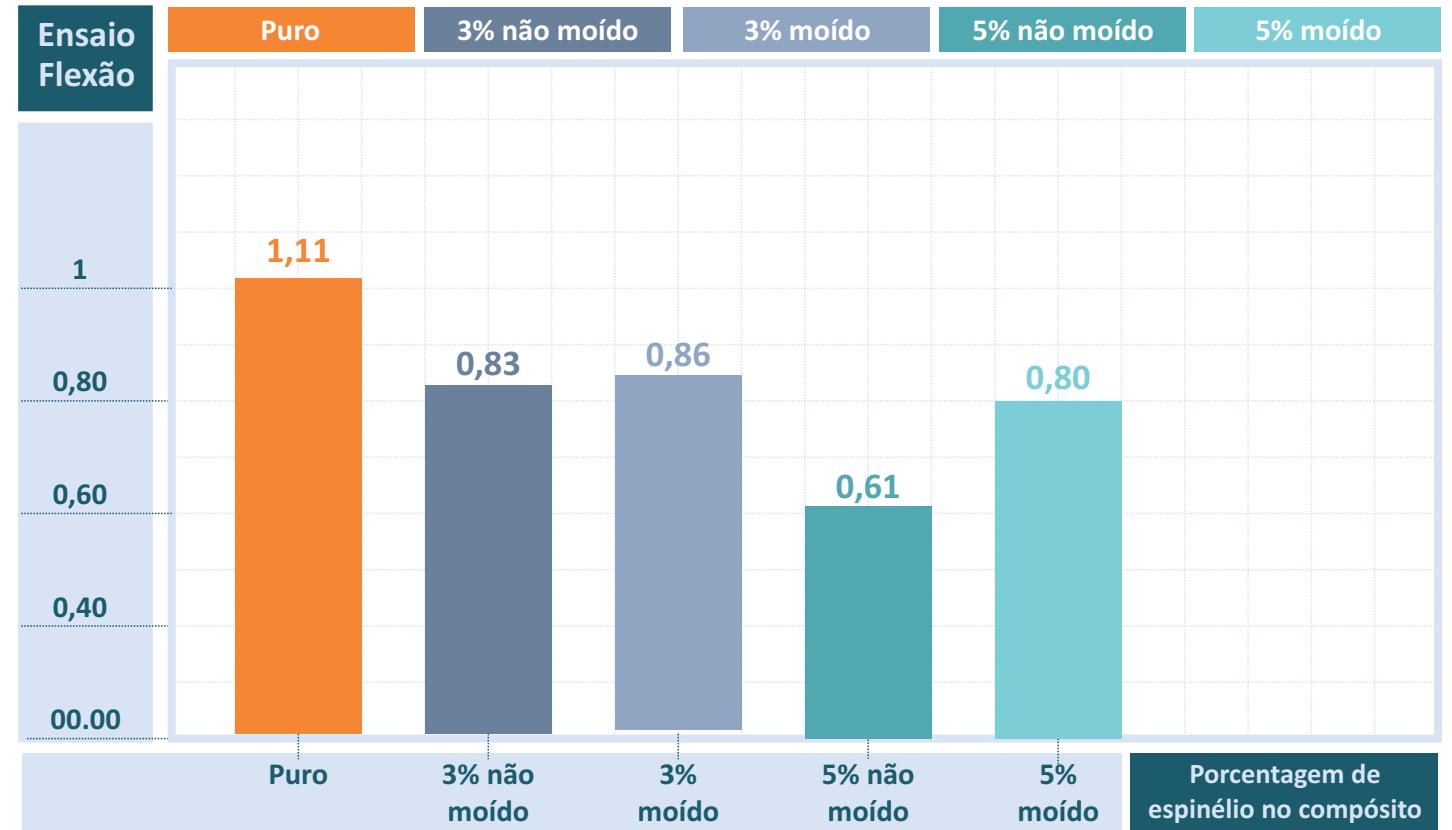
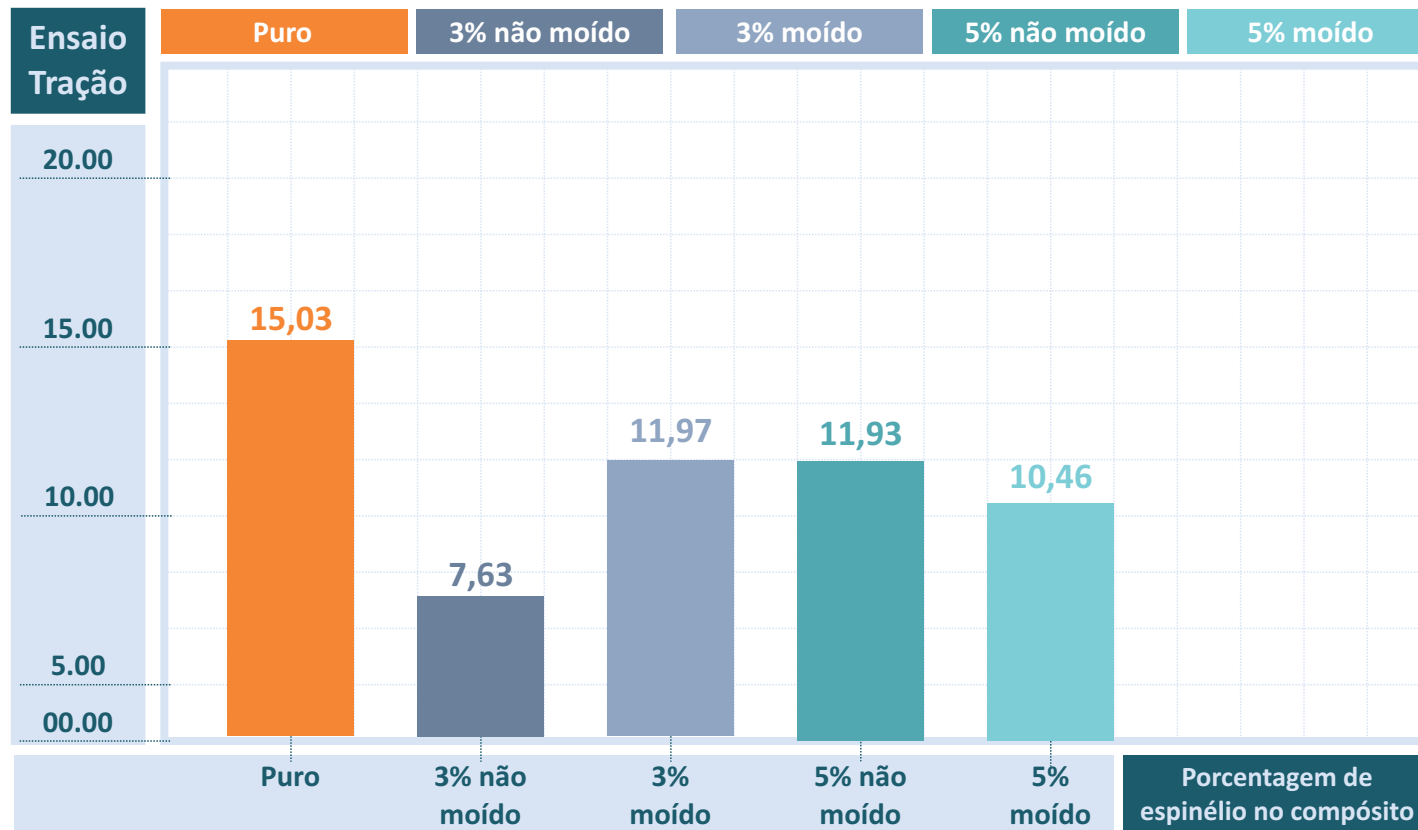
Resultados e Discussão

Ensaio de tração (MPa)

Porcentagem de espinélio nocompósito	Cp 1	Cp 2	Média	Desvio padrão
0%	20,01	10,05	15,03	4,98
3% não moído	6,38	8,97	7,67	1,30
3% moído	9,53	14,41	11,97	2,44
5% não moído	14,17	9,76	11,96	2,97
5% moído	8,45	12,48	10,46	2,02

Ensaio de Flexão (MPa)

Porcentagem de espinélio nocompósito	Cp 1	Cp 2	Média	Desvio padrão
0%	1,17	1,06	1,11	0,05
3% não moído	0,84	0,82	0,83	0,01
3% moído	0,57	1,15	0,86	0,29
5% não moído	0,33	0,90	0,61	0,28
5% moído	0,68	0,93	0,80	0,12



Resultados e Discussão

Ensaio de Dureza (Shore D)

Resina Pura

quant. de ensaios	Cp 1	Cp 2	Cp 3	Cp 4	média	desvio padrão
1	83,0	79,7	81,8	81,4	81,5	1,21
2	82,7	78,2	83,0	80,9	81,2	2,04
3	82,8	79,7	82,2	81,1	81,2	1,28
4	82,4	77,5	82,8	82,0	81,2	2,20
5	82,2	79,0	83,2	81,3	81,4	1,74
6	82,0	78,8	83,6	81,8	81,5	1,84
7	82,2	80,5	83,2	82,0	81,9	1,10
8	82,4	77,5	83,6	81,6	81,2	2,47
9	81,8	78,4	83,4	81,3	81,2	2,05
10	81,8	79,5	83,2	82,0	81,6	1,45

3% de espínio não moído

quant. de ensaios	Cp 1	Cp 2	média	desvio padrão
1	74,6	74,6	74,6	0
2	74,0	74,8	74,4	0,70
3	74,8	74,6	74,7	0,44
4	74,4	74,8	74,7	0,31
5	74,8	74,4	74,7	0,31
6	74,6	74,6	74,6	0
7	74,6	74,2	74,4	0,28
8	74,4	74,8	74,6	0,31
9	74,8	74,8	74,8	0
10	74,6	74,2	74,4	0,28

3% de espínio moído

quant. de ensaios	Cp 1	Cp 2	média	desvio padrão
1	71,8	77,9	74,5	3,07
2	72,0	77,7	74,9	2,85
3	74,4	79,7	74,5	3,71
4	73,2	79,2	76,2	4,00
5	78,6	76,6	77,6	1,41
6	76,6	79,2	77,9	1,83
7	79,0	79,5	79,2	0,35
8	79,7	77,2	78,4	1,77
9	76,4	76,6	76,5	0,14
10	78,1	79,7	78,9	1,13

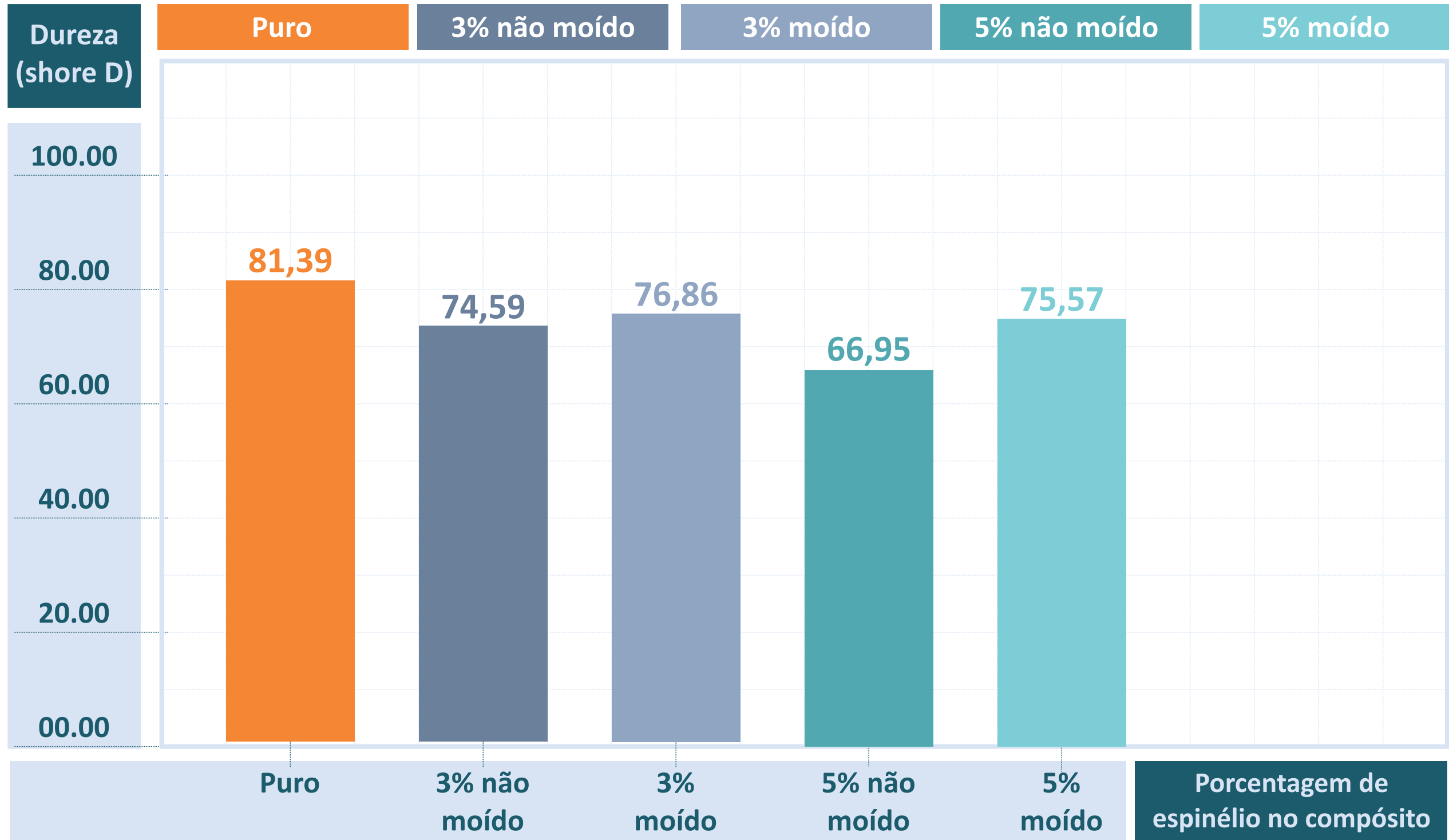
5% de espínio não moído

quant. de ensaios	Cp 1	Cp 2	média	desvio padrão
1	67,6	66,6	67,1	0,71
2	67,6	67,9	67,7	0,21
3	66,4	66,1	66,2	0,21
4	67,0	67,5	67,2	0,35
5	67,0	67,5	67,2	0,35
6	66,8	68,1	67,4	0,92
7	66,4	67,3	66,8	0,92
8	66,8	65,1	65,9	1,19
9	66,8	67,7	67,2	0,63
10	67,6	66,0	66,8	1,13

5% de espínio moído

quant. de ensaios	Cp 1	Cp 2	média	desvio padrão
1	74,8	74,2	74,5	0,42
2	76,8	74,8	75,0	1,85
3	74,0	73,8	73,9	0,44
4	77,2	74,8	76,0	1,69
5	76,6	75,1	75,8	1,06
6	76,0	76,0	76,0	0
7	76,8	76,2	76,5	0,42
8	76,4	76,4	76,4	0
9	76,0	75,1	75,5	0,64
10	76,8	75,3	76,1	1,06

Resultados e Discussão



Conclusões

Os resultados discutidos nesta dissertação, indicam que independente do espinélio moído e não moído, o compósito apresentou resistência inferior em comparação a resina pura, diminuindo assim a capacidade do material em suportar as cargas de tração e flexão.

Seu reforço na matriz polimérica da resina fotocurável não contribuiu asseguradamente para a resistência mecânica de um modo geral.



Conclusões

No seguimento da manufatura aditiva, ainda que o pó de espinélio tenha decantado no tanque da máquina com o tempo de impressão de 15 horas, a redução desse tempo contribuiu para a impressão completa das peças.

Para peças com dimensões maiores, onde o tempo de impressão for aproximadamente acima de 5 horas, o pó de espinélio não é indicado para esta aplicação.



Trabalhos Futuros

- * Desenvolver novos compósitos com diferentes teores de espinélio;
- * Utilizar outros modelos de resina fotocurável, a nível de comparação com este trabalho.
- * Aprimorar o método de moagem do espinélio, buscando uma homogeneização mais eficaz na matriz polimérica da resina e, conseqüentemente, evitar o decante do material.
- * Confeccionar mais corpos de prova para cada teor de espinélio, obtendo mais resultados comparativos.

Obrigado.