

Influência do tipo de insumo(matéria prima) utilizado na manufatura por impressão 3DPrinter no comportamento mecânico de amostras/biomodelos.

(Influence of the type of input (feedstock) used in 3DPrinter printing manufacturing in the mechanical behavior of samples / biomodels.)

N. C. Salles¹, S. T. Mello¹, R. C. Tokimatsu¹

¹UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira /Departamento de Engenharia Mecânica
– Ilha Solteira – SP, Brasil
ruis.c.tokimatsu@unesp.br

RESUMO

Este trabalho trata da formulação de uma matéria prima alternativa, a base de gesso, para ser utilizada em impressoras 3DPrinter. A formulação dessa matéria prima compreendeu variações do seguinte: quantidade de ligante utilizado, o método de mistura, granulometria dos pós e utilização de um novo constituinte(sulfato de magnésio). Analisou-se a influência da composição e granulometria em propriedades fundamentais para garantir um bom desempenho da matéria prima durante o processamento por manufatura aditiva. Para avaliar o comportamento mecânico foram produzidos corpos de prova com diferentes composições, granulometrias e submetidos a ensaios de compressão e flexão três pontos. Observou-se que a composição que apresentou os melhores resultados foi comparada ao material importado habitualmente utilizado. Os resultados apurados sugerem que o novo material alternativo, com custo de produção dez vezes menor, pode atender satisfatoriamente os requisitos básicos para obtenção de biomodelos.

Palavras-chave: Impressão tridimensional. 3Dprinter. Biomodelagem. Composição. Granulometria.

ABSTRACT

This work deals with the formulation of an alternative feedstock, the gypsum base, to be used in 3DPrinter printers. The formulation of this raw material comprised variations of the following: amount of binder used, method of mixing, particle size of the powders and use of a new constituent (magnesium sulfate). The influence of the composition and granulometry on fundamental properties was analyzed to ensure a good performance of the raw material during processing by additive manufacture. In order to evaluate the mechanical behavior, specimens with different compositions, granulometry and three-point compression and bending tests were produced. It was observed that the composition that presented the best results was compared to the commonly used imported material. The results suggest that the new alternative material, with a production cost ten times smaller, can satisfactorily meet the basic requirements for obtaining biomodels.

Keywords: Three-dimensional printing. 3Dprinter. Biomodeling. Composition. Granulometry.

INTRODUÇÃO

No passado, os recursos da medicina eram muito limitados. Os médicos estudavam doenças, causas de mortes, apenas através das dissecações e auxiliados apenas pela própria experiência.

Em virtude do grande desenvolvimento da tecnologia, gradativamente surgiram equipamentos e técnicas medicinais que buscavam facilitar a vida dos médicos e pacientes como raios-X, descobertos em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen [1], ultrassom, que começou a ser efetivamente utilizado para terapia física, principalmente para membros de equipes da Europa de futebol na década de 1920 e 1930[2] e ressonância magnética, utilizada na medicina pela primeira vez no ano de 1977, mais precisamente no dia 03 de julho[3]. Nesse contexto surgiu a biomodelagem. Uma técnica que consiste na construção de um modelo físico a partir de imagens bidimensionais (de tomografias, ressonâncias, ultrassom), que são tratadas através de softwares e transformadas em um biomodelo virtual, que por fim torna-se um biomodelo físico, que pode ser impresso por uma máquina de manufatura aditiva[4].

O emprego de biomodelos tem sido apontado como sendo muito vantajoso pois possibilita aprimorar o planejamento cirúrgico de modo a diminuir os riscos durante e após a intervenção, o tempo operatório é reduzido e assim minimiza-se, por exemplo, o tempo em que o paciente necessita ficar anestesiado[5,6].

Um das impressoras utilizadas para produção dos biomodelos é a 3D PRINTER, um processo relativamente barato quando comparado com os outros, que tem algumas vantagens em relação a outras impressoras como a não utilização de laser e possibilita a utilização de uma ampla gama de matérias-primas.

A impressão 3D PRINTER funciona da seguinte maneira: a primeira etapa do processo é a distribuição do pó na plataforma de construção e seu nivelamento através do rolo nivelador. Posteriormente o cabeçote de impressão inicia a varredura na camada, liberando na região da geometria desejada da peça um reagente chamado *binder*(aglutinante), para fabricação da camada. O pistão da impressora desce e o *binder* aglomera apenas na geometria desejada. O pó que não está na geometria da peça serve como suporte, e a cada descida do pistão o rolo nivelador, compacta e planifica o pó, assim camada por camada a peça é produzida. Assim forma-se uma camada bidimensional, porém essa camada somada a todas as outras que serão construídas da origem à peça final tridimensional. As propriedades físicas e químicas da matéria prima e do aglutinante influenciam diretamente na qualidade final dos manufaturados por impressão 3D *Printer*[7].

Não obstante, há desvantagens inerentes a essa técnica tais como: a baixa resistência mecânica e baixa qualidade do acabamento superficial dos componentes como manufaturados, o que tem reforçado há necessidade de um pós-processamento nos componentes para se obter resultados mais satisfatórios [7,8].

Na impressão 3D PRINTER um material muito utilizado é a base de gesso. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral a produção de gipsita, o tipo de gesso mais utilizado no mercado nacional, foi de 160 milhões de toneladas no ano de 2013. O Brasil é o maior produtor da América do Sul e o 11º do *ranking* mundial [9], o que torna o gesso um material economicamente viável para a manufatura aditiva. Todavia, os insumos utilizados na impressão 3D *Printer*, tanto o pó, que neste trabalho será denominado de matéria prima, como o *binder*(aglutinante) são importados e os preços são excessivamente elevados. Na essência, a principal motivação deste trabalho foi decorrente de uma avaliação crítica dos insumos utilizados e os preços praticados, e também da inspiração no trabalho interessante de Meira[10], no qual estudou e produziu insumos alternativos para impressão 3D PRINTER.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver insumos a base de gesso para impressão 3D PRINTER. O propósito foi desenvolver tanto o pó(matéria prima) como o binder com baixo custo e mantendo as características técnicas dos insumos de referência, ou seja, a matéria prima e o binder importados. Para avaliar a qualidade da matéria prima e binder alternativos recorreu-se a três parâmetros: a densidade, a resistência a flexão e resistência a compressão. Além disso, observando também esses três parâmetros, avaliou-se a influência do pós-processamento: sem pós-processamento(Como manufaturado) e com pós-processamento com sulfato de magnésio e com resina de baixa viscosidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para imprimir um objeto utilizando a técnica 3D *PRINTER*, é necessário o pó como matéria-prima na plataforma de construção e o *binder* que é o aglutinante. Porém apenas o gesso não é suficiente para a impressão de uma amostra ou biomodelo. Os insumos utilizados nesse tipo de impressão, tanto a pó(doravante, neste trabalho, será sempre referenciado como matéria prima) e como o binder(aglutinante) apresentam uma formulação complexa. Portanto, se constitui num grande desafio desenvolver tais insumos visando a manutenção das qualidades funcionais com um baixo custo.

Desta forma, planejou-se uma matriz experimental mais consistente possível para se produzir insumos que possibilitem resultados com propriedades mecânicas similares ao material importado.

Assim, como estratégia dividiu-se o desenvolvimento dos insumos para manufatura 3D PRINTER em duas frentes: binder alternativo e matéria prima alternativa.

Binder(aglutinante) alternativo(Ba)

O ponto de partida foi o *binder* com a composição sugerida por MEIRA[10]: 90 Vol.% de água destilada, 5 Vol.% de álcool isopropílico, 4,5 Vol.% de glicerina e 0,5 Vol.% de extran. Foram produzidos dois litros do aglutinante com a seguinte composição:

- 1800 ml de água destilada;
- 100 ml de álcool isopropílico;
- 90 ml de glicerina;
- 10 ml de extran.

A metodologia para produção do aglutinante constituiu no uso da pipeta para medir os volumes necessários de cada ingrediente do *binder*, os quais foram depositados num béquer, misturados e posteriormente armazenados em um recipiente com boa vedação para evitar contaminação.

Matéria Prima alternativa(MPa)

Antes de descrever o procedimento de obtenção dos insumos alternativos cumpri informar que os insumos comerciais(importados) utilizados como referência e comparação foram os seguintes: o material em pó à base de gesso *Visijet® PXL™ CORE* e o *binder VisiJet® PXL™ Clear*, sendo todos os produtos da marca *3D SYSTEMS*.

O desenvolvimento da matéria prima alternativa teve como ponto de partida também a formulação tida como ideal por Meira[10]: 94 Vol.% de gesso em pó, 5 Vol.% de ligante PVB (polivinil butiral) e 1 Vol.% de agente higroscópico CMC (carboximetilcelulose). Neste trabalho foram elaboradas diferentes composições. Variou-se as porcentagens dos principais componentes e foi adicionando um novo constituinte, o sulfato de magnésio. Outro aspecto que merece destaque foi que utilizou-se um ligante de partículas de gesso diferente, em vez de PVB foi utilizado PVA (acetato de polivinila). Além disso, no presente trabalho a mistura dos

componentes para formar o pó(matéria prima) foi realizada a seco, diferentemente do processo feito por Meira que foi barbotina.

No presente trabalho utilizou-se para confecção desta matéria prima alternativa o seguinte: Gesso odontológico da marca Chaves S/A; Álcool Polivinílico (PVA) da marca NEON; Carboximetilcelulose (CMC) da marca Synth. O matérias em pó foram selecionados com peneiras das seguintes granulometrias #200, #325 e #400 mesh da marca Granutest. Depois esses constituintes foram pesados em uma balança digital nas seguintes proporções: 96% gesso odontológico, 2% PVA, 1% de CMC e 1% de sulfato de magnésio.

Além disso, na tentativa de alcançar resultados mais próximos possíveis da matéria prima importada recorreu-se a uma formulação intermediária para ser testada na manufatura 3D PRINTER. Produziu-se uma mistura constituída de 50% de Matéria Prima alternativa(MPa) e 50% de Matéria Prima importada(MPi).

Para a caracterização dos pós(matérias primas) foram realizadas imagens por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), a fim de verificar a morfologia dos pós. As imagens das amostras de pós foram realizadas no Microscópio Eletrônica de Varredura EVO LS15 Zeiss® localizado no Laboratório Multiusuário de Microscopia da FE/IS – UNESP.

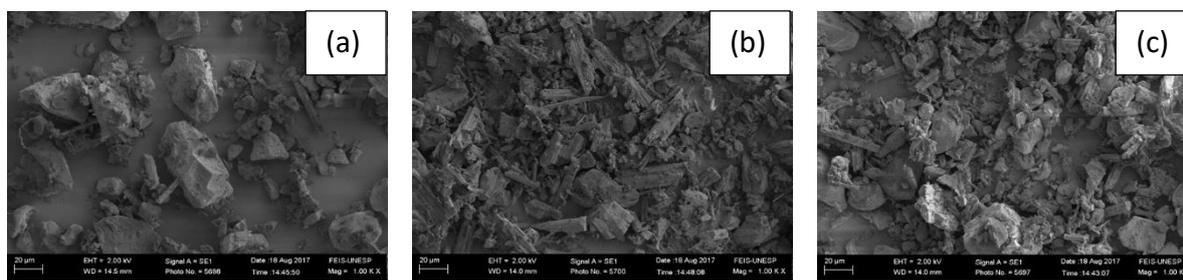


Figura 1– Observa-se a morfologia dos três tipos de matéria prima utilizados: (a) matéria prima importada; (b) matéria prima alternativa e (C) mistura da matéria prima importada e alternativa.

Obtenção e caracterização das amostras

Para julgar o mérito dos insumos e da condição de processamento recorreu-se a corpos de prova cilíndricos de Ø7x14mm, destinadas ao ensaio de compressão ASTM C1424-10, e amostras prismáticas de 6x4x40mm, destinadas ao ensaio de flexão ASTM C1161-13.]. As combinações de insumos resultaram em quatro condições:

- Matéria Prima importada(MPi) e *Binder* importado(Bi);
- Matéria Prima importada(MPi) e *Binder* alternativo(Ba);
- Matéria Prima alternativa(MPa) e *Binder* alternativo(Ba);
- Mistura de Mateiras Prima(MPm) - mistura de 50% de MPa com 50% MPa - e *Binder* alternativo(Bi).

Foram produzidas 30 amostras por combinação de insumos, sendo 15 amostras cilíndricas e 15 amostras prismáticas. Depois cada um desses grupos de 15 amostras foram divididos em subgrupos de 5 amostras para se avaliar as três condições de processamento:

- Como Manufaturado(CM), ou seja, sem pós-processamento;
- Pós-processamento com aplicação de sulfato de magnésio(SuM) diluído em água;
- Pós-processado com aplicação de resina(Res) cianoacrilato de baixa viscosidade.

Ao todo foram produzidos 120 corpos de prova, sendo 60 amostras cilíndricas e 60 amostras prismáticas. A Tabela sintetiza a matriz experimental utilizada na caracterização mecânica.

Tabela 1 – Matriz experimental para avaliação do mérito dos insumos e condição e processamento.

INSUMOS		CONDIÇÃO DE PROCESSAMENTO		
matéria prima	binder	CM	SuM	Res
MPi	Bi	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão
MPi	Ba	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão
MPa	Ba	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão
MPm	Ba	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão	5 CPs flexão 5 CPs compressão
Total geral: 120 amostras		40 amostras	40 amostras	40 amostras

Após os corpos de prova terem sido impressos para cada uma das combinações de insumos, eles passaram pela máquina de ar comprimido para retirada de excesso de pó, e depois foram encaminhados para o pós-processamento. Uma parte permaneceu como manufaturada, outra parte foi submetida a pós-processamento com sulfato de magnésio diluído em água, e uma outra parte foi pós-processada com a aplicação de resina TEK Bond cianoacrilato de baixa viscosidade. Ambos os processos foram realizados com a aplicação dos líquidos infiltrantes por gotejamento.

Finalizado os pós-processamentos todas as 120 amostras foram submetidas as medidas de comprimento, largura, espessura, para determinação do volume, e massa visando a determinação da densidade aparente.

A caracterização das amostras foi finalizada com a realização dos ensaios mecânicos para se medir a resistência a compressão e a resistência a flexão – Figura 2. Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do DEMM/FEM/UNICAMP, na máquina MTS modelo 810-FlexTest 40, com auxílio do software TestWorks 4 - MTS

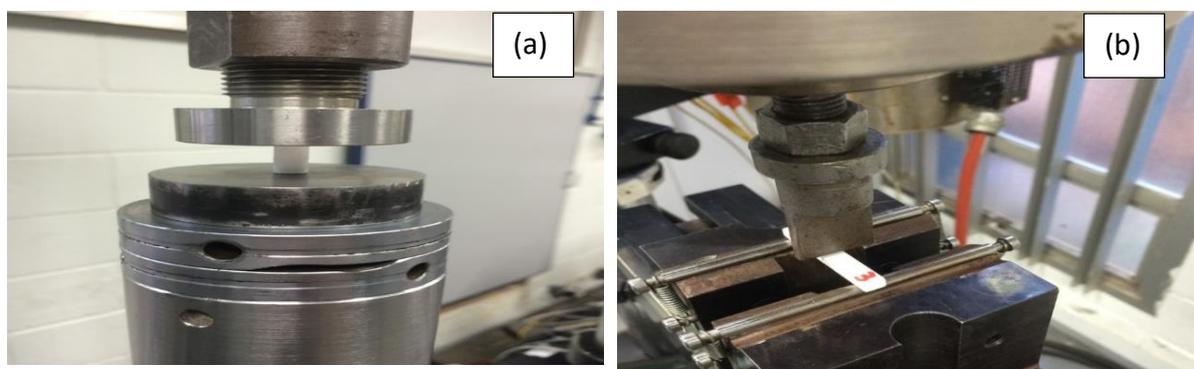


Figura 2 – Ensaios mecânicos: (a) ensaio de compressão e (b) ensaio de flexão.

RESULTADOS

Os resultados mostraram que existe influência significativa dos insumos, matéria prima e binder, e da condição de processamento na densidade aparente, na resistência à compressão e na resistência à flexão.

Influência sobre a densidade aparente

Analisando-se a Tabela 2 e Figura 3 observa-se que a densidade aparente, tanto das amostras prismáticas como das amostras cilíndricas, na condição como manufaturadas, produzidas com a matéria prima alternativa(MPa) foram média 30% menores do que os valores de densidade para amostras do mesmo tipo obtidas com a matéria prima importada. Esse resultado sugere que a fluidez o grau de compactação da matéria prima alternativa ainda necessita ser aprimorada.

Por outro lado, comparando-se as densidades na condição como manufaturada das amostras com MPi com MPm consta-se que as diferenças estão por volta de apenas 10%, o que, sem dúvida chega ser motivador.

Com respeito ao tipo de pós-processamento, a densidade variou muito pouco com a aplicação de sulfato de magnésio, todavia, como esperado, foi bem expressiva com a aplicação de resina em todas as condições.

Influência sobre a resistência mecânica

A Tabela 3 e a Figura 4 mostram a influência dos insumos, matéria prima e binder, na resistência mecânica, considerando a resistência a compressão e a flexão.

Analisando-se as duas formulações com matéria prima importada, mas com variação de binder, uma com *binder* importado(Bi) e a outra com binder alternativo(Ba), ambas na condição como manufaturado, pode-se constar que o binder alternativo(Ba) apresentou desempenho plenamente satisfatório. Produziu resistência mecânica muito similar a obtida com o binder importado.

Quanto a comparação da resistência mecânica entre as amostras produzidas com a matéria prima alternativa(MPa) com as amostras obtidas com matéria prima importada, na condição como fabricada, observa-se um queda significativa na resistência a flexão, mais de 80%, e também na resistência à compressão, mais de 90%. A matéria prima alternativa não produziu a resistência mecânica almejada na condição como fabricada. Todavia, com o pós-processamento, sobretudo com resina, o ganho de resistência mecânico é expressivo.

A matéria prima resultante da mistura de 50%MPi com 50%MPa permite melhorar significativamente a resistência mecânica, e com o pós-processamento praticamente apresenta resistência mecânica equivalente a matéria prima importada.

Com respeito ao pós-processamento por gotejamento de sulfato de magnésio diluído em água, para todas as combinações de insumos, não se observou ganho significativo de resistência mecânica.

O pós-processamento com resina de baixa viscosidade, por ter ocorrido um efetivo preenchimento de vazios, possibilitou um ganho muito expressivo de resistência à compressão e resistência a flexão. Neste caso, o ganho de resistência foi diretamente proporcional a quantidade de vazios. As amostras que apresentaram menor densidade aparente, ou seja, as amostras resultantes da MPa e MPm, foram as que apresentaram os maiores ganhos de resistência mecânica. Quanto maior da quantidade de vazios do material maior será a infiltração da resina. Nesse caso, a resistência da resina passa a exercer grande influência na resistência final da amostra.

Tabela 2 – Influência dos insumos, matéria prima e binder, e da condição de processamento na densidade aparente.

Tipo de insumos utilizados na impressão 3D	Condição de processamento	Densidade – [g/cm ³]	
		Amostra Prismática AP	Amostra cilíndrica AC
Matéria Prima importada(MPi) e Binder importado(Bi) MPI e Bi	Como Manufaturado CM	1,35(0,02)	1,32(0,08)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	1,37(0,03)	1,36(0,03)
	Pós-Processado com Resina Res	1,57(0,06)	1,65(0,11)
Matéria Prima importada(MPi) e Binder alternativo(Ba) MPI e Ba	Como Manufaturado CM	1,38(0,02)	1,46(0,04)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	1,43(0,03)	1,41(0,02)
	Pós-Processado com Resina Res	1,63(0,05)	1,68(0,12)
Matéria Prima alternativa(MPa) e Binder alternativo(Ba) MPa e Ba	Como Manufaturado CM	0,94(0,03)	0,87(0,16)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	0,96(0,05)	1,03(0,06)
	Pós-Processado com Resina Res	1,38(0,04)	1,38(0,09)
Matéria Prima / mistura da importada(50%) com a alternativa(50%) (MPm) e Binder	Como Manufaturado CM	1,20(0,05)	1,23(0,03)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	1,28(0,05)	1,32(0,09)
	Pós-Processado com Resina Res	1,51(0,01)	1,62(0,11)

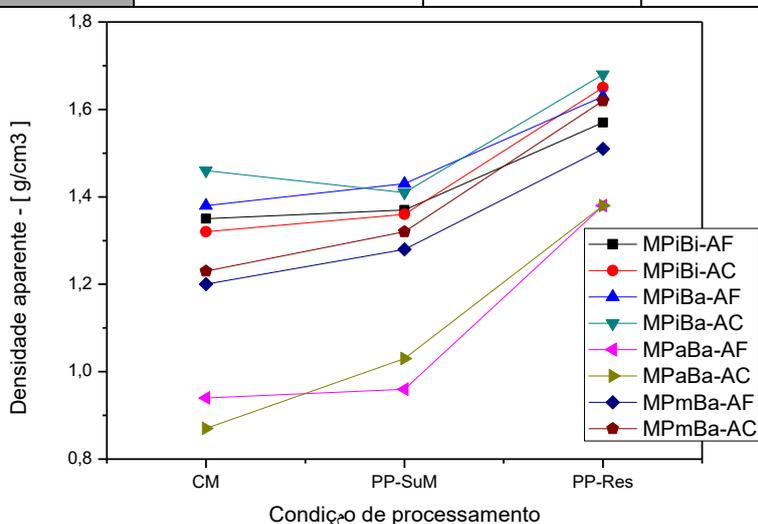


Figura 3 – Influência dos insumos, matéria prima e binder, e da condição de processamento na densidade aparente.

Tabela 3 – Influência dos insumos, matéria prima e *binder*, e da condição de processamento na resistência mecânica à flexão e à compressão.

Tipo de insumos utilizados na impressão 3D	Condição de processamento	Resistencia à flexão [Mpa]	Resistência à compressão [MPa]
Matéria Prima importada(MPi) e Binder importado(Bi) MPI e Bi	Como Manufaturado CM	6,34(0,36)	4,61(0,81)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	3,66(0,73)	4,16(1,07)
	Pós-Processado com Resina Res	18,80(0,73)	41,00(2,94)
Matéria Prima importada(MPi) e Binder alternativo(Bia) MPI e Ba	Como Manufaturado CM	5,55(0,21)	7,42(1,02)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	6,96(0,55)	8,03(1,03)
	Pós-Processado com Resina Res	21,78(0,78)	36,48(9,40)
Matéria Prima alternativa(MPa) e Binder alternativo(Bia) MPa e Ba	Como Manufaturado CM	1,20(0,17)	0,36(0,05)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	1,71(0,37)	0,74(0,10)
	Pós-Processado com Resina Res	16,3(6,16)	28,75(8,55)
Matéria Prima mistra de importada(50%) com alternativa(950%) (MPm) e Binder alternativo(Bia) MPm e Ba	Como Manufaturado CM	2,44(0,14)	2,06(0,06)
	Pós-Processado com Sulfato de Magnésio SuM	5,05(0,90)	4,41(0,73)
	Pós-Processado com Resina Res	18,50(0,98)	40,31(3,08)

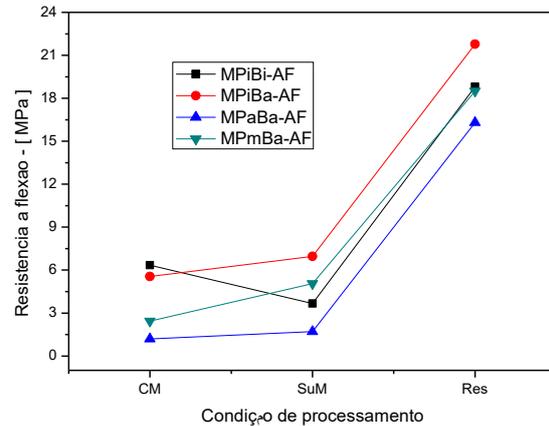
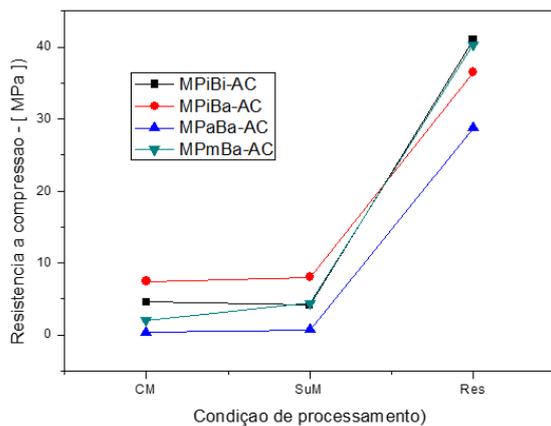


Figura 4 – Influência dos insumos, matéria prima e *binder*, e da condição de processamento na resistência mecânica à flexão e à compressão.

CONCLUSÕES

O propósito deste trabalho foi empenhar esforços para desenvolver insumos alternativos, tanto a matéria prima (pó para impressão) como o binder (aglutinante), de baixo custo para serem utilizados na manufatura aditiva 3DPRINTER.

Para se julgar o mérito dos insumos alternativos recorreu-se a três parâmetros: densidade relativa, resistência à compressão e resistência à flexão. Ao realizar-se uma análise comparativa desses parâmetros entre os insumos importados com os insumos alternativos pode-se abstrair o seguinte:

- O *binder* alternativo apresentou desempenho muito satisfatório. Atingiu plenamente as características técnicas almejadas;
- A matéria prima alternativa, na condição como manufaturada, apresentou grau de compactação e resistência mecânica bem inferior quando comparada com a matéria prima importada. Todavia, com o pós-tratamento por gotejamento de resina a base cianoacrilato de baixa viscosidade o ganho de resistência foi excelente.
- A matéria prima resultante da mistura de 50% MPi e 505MPa já possibilitou um ganho significativo de resistência mecânica na condição como manufaturada. Com o pós-tratamento com a resina cianoacrilato o nível de resistência mecânica foi similar a matéria prima importada.

REFERENCIAS

- [1] MARTINS, R.A. A Descoberta dos Raios X O Primeiro Comunicado de Rontgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Campinas, v. 20, n.4, p. 373, nov. 1997.
- [2] SANTOS, H. C.; AMARAL, W. N.; TACON, K. C A história da ultrassonografia no Brasil e no mundo. **Revista Digital**, Buenos Aires, v 17, n. 167, p. 1, abril 2012.
- [3] SILVA, F.B. **Ressonância Magnética e seu contexto histórico**. 2012. 21 f. Trabalho (Curso Tecnológico) – Radiologia. CENETI, 2012. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/84176783/Trabalho-sobre-Ressonancia-Magnetica>>. Acesso em: 22 mar. 2016.
- [4] D'URSO et al. Cerebrovascular biomodelling: a technical note. **Surgical Neurology**, Philadelphia, v. 52, n. 5, p. 490-500, nov. 1999.
- [5] FERRAZ, E. G. **Efeito do processamento de reconstruções tridimensionais virtuais para confecção de biomodelos de prototipagem rápida: estudo experimental em mandíbulas secas humanas**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Odontologia - Clínica Odontológica) - Faculdade de Odontologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.
- [6] ANTAS, A. F. F. **Utilização das tecnologias de prototipagem rápida na área médica**. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em Design Industrial) - Escola Superior de Artes e Design de Matosinhos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Porto, Porto, 2007.
- [7] VOLPATO, N.; FERREIRA, C. V.; SANTOS, J. R. L. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 244 p.
- [8] UPCRAFT, S. Fletcher, r. the rapid prototyping technologies. **Rapid Prototyping Journal**, Bingley, v. 23, n. 4, p. 318-330, 2003.
- [9] DA LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. CETEM-MCT. Rio de Janeiro: A. B. DA LUZ; F. F. LINS, 2005.
- [10] MEIRA, C. R. et al. Desenvolvimento de pó à base de gesso e binder para prototipagem rápida. **Cerâmica**, São Paulo, v. 59, n. 351, p. 401-408, 2013 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0366-69132013000300009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 de abril de 2016.