ANÁLISE DE MATERIAIS IMPRESSOS 3D EM RELAÇÃO AO SEU COMPORTAMENTO DIELÉTRICO

Christian Luz Pelissari de Oliveira[1], Kelvin Meira Barbosa[1], José Henrique Galeti[1]

[1]Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas - MS

christian.oliveira2@estudante.ifms.edu.br, jose.galeti@ifms.edu.br

Resumo

Na ciência é de grande importância o conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas dos materiais, pois elas são diretamente aplicadas em várias áreas do cotidiano e também no meio da engenharia. As novas tecnologias e as constantes mudança de mercado, mostram que a atuação de impressoras 3D são um exemplo de praticidade e rapidez na criação de protótipos. No presente trabalho propõe-se por meio de ensaios dielétricos realizar a caracterização de materiais impressos em impressoras 3D de acordo com sua permissividade elétrica e rigidez dielétrica. Foram impressas amostras de placas em 3D com filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) no tamanho $50x50x2{,}2mm$ para os testes de permissividade elétrica e rigidez dielétrica, tendo variações de amostras de acordo com sua densidade.

Palavras-chave: Materiais dielétricos, isolamento elétrico, Impressão 3D, protótipos para tensões elevadas.

Introdução

A produção e transformação de materiais em bens acabados constitui uma das mais importantes atividades de uma economia moderna. Um produto, para ser manufaturado, requer uma etapa de planejamento de seu processo de produção. Os materiais são analisados e desenvolvidos dentro do ramo do conhecimento denominado de "Ciência e Engenharia de Materiais" [1]. Passando pelo período da revolução industrial, com a indústria 4.0. veio o surgimento e estudos de novas tecnologias, como a impressão de modelagens 3D, que pode auxiliar no desenvolvimento de projetos, assim, sendo necessário o conhecimento sobre física e química de seus materiais. Deste modo, um dos objetos de estudo, é a caracterização dielétrica de seu material, que pode ser usada como uma técnica não destrutiva para avaliar e monitorar sua qualidade, bem como no entendimento da relação estrutura-propriedade de um material, através de suas propriedades dielétricas em função da frequência, temperatura, composição química do material, dentre outros. Para realizar este trabalho foi necessário o estudo sobre as diferentes técnicas e meios de caracterização dielétrica dos materiais, como as técnicas da aplicação de tensão RMS e medida de corrente elétrica RMS das amostras, tensão DC e corrente elétrica DC e a técnica da corrente de despolarização isotérmica, para assim, utilizar o método que apresentasse resultado preciso e que mais se adequasse às ferramentas disponíveis em laboratório [2][3]. Após o levantamento bibliográfico da pesquisa sido realizada, efetuaram-se estudos sobre técnicas de caracterização dialética dos materiais com aplicações voltadas para impressão 3D.

Metodologia

Define-se permissividade elétrica como o relacionamento e a forma que um campo elétrico interage com o meio que está inserida, ou a forma como o mesmo se polariza em função de um campo elétrico. Geralmente, o levantamento prático da permissividade elétrica ocorre por meio da variação do valor da capacitância ao se substituir o material dielétrico que esta em situação de teste pelo ar, ou por outro material que contenha a permissividade elétrica anteriormente conhecida. Capacitores que contenham em sua composição placas metálicas paralelas tem sua capacitância diretamente proporcional à área das placas e também a permissividade elétrica absoluta, ε, inversamente proporcional à distância entre elas [7][9]. O campo elétrico máximo em que um material pode ser inserido antes da ocorrência de processos de condução como ruptura dielétrica é chamado de rigidez dielétrica, e valor pode ser obtido ao se aplicar uma tensão elétrica entre dois eletrodos com o material a ser testado entre eles. Contudo, este material deve conter espessura conhecida, para que o valor da tensão em que será observada a ruptura dielétrica, ocorrendo a partir da condução entre os eletrodos, possa ser utilizado na efetuação do cálculo do campo elétrico no material e seja possível concluir a rigidez dielétrica do material [6][8].

Resultados e Discussão

Após o levantamento bibliográfico da pesquisa sido realizada, efetuaram-se estudos sobre técnicas de caracterização dialética dos materiais com aplicações voltadas para impressão 3D. Foram impressas amostras de placas em 3D com filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) no tamanho $50x50x2{,}2mm$. A partir das mesmas, observou-se que as impressões apresentavam erros como: Construção nas primeiras camadas; Camadas que se separam (Delaminação); Fendas e cavidades na parte superior da peça (Pillowing). Com base nos erros encontrados, realizaram-se pesquisas com o objetivo de encontrar possíveis soluções para que os problemas das impressões pudessem ser resolvidos. Com os dados obtidos, avaliou-se a impressora 3D e sua calibragem, para que os resultados fossem devidamente satisfatórios, houve um enfoque de maior trabalho na passagem de fluxo, garantindo a qualidade da impressão. Foram impressas amostras padronizando parâmetros como: Velocidade de impressão; Temperatura da mesa; Temperatura do bico de extrusão; Altura da camada;

Padrão de preenchimento (Grade). O único parâmetro que se observou variação, de acordo com cada amostra, foi a densidade de preenchimento. Com a ocorrência de variações a cada 10%, sendo impressas peças de 40% até 90% de preenchimento. Amostras com preenchimento inferior a 40%, apesar da calibragem, ainda apresentavam erros de "Pillowing", não sendo utilizadas nos testes, pois, isto resultaria em uma imprecisão muito alta na análise de permissividade, pois na execução dos testes, necessitava-se de óleo de transformador na realização da medida de capacitância, assim, ao realizar o cálculo de permissividade exibido pelo dielétrico o mesmo adentrou-se a peça, ocasionando-se alteração no valor da medição.

Realizou-se o teste de densidade de cada amostra, efetuando a medição de suas respectivas massas e volumes, utilizando-se balança de precisão, paquímetro e micrômetro para obtenção dos dados, desse modo, aplicou-se:

$$d = \frac{m}{V}$$

Tabela 1. Densidade das Amostras.

Preenchimento	Lados					Espessura	Volume (cm³)	Massa (g)	Densidade(g/cm³)
	A	B	C	D	E				
40	2,268	2,262	2,243	2,213	2,192	2,235	55,89	2,9025	0,051932367
50	2,027	1,995	2,015	2,054	1,987	2,0156	50,39	3,1765	0,063038301
60	2,093	2,135	2,144	2,172	2,081	2,125	53,125	3,4626	0,065178353
70	2,082	2,061	2,039	2,1	2,021	2,0606	51,515	3,625	0,070367854
80	2,066	2,091	2,073	2,045	2,027	2,0604	51,51	3,7501	0,072803339
90	2,109	2,126	2,105	2,078	2,059	2,0954	52,385	3,9042	0,074528968

Analisou-se a resistência dielétrica das amostras impressas de 40% a 90% utilizando-se um testador de óleo isolante junto com um transformador de alta tensão, as amostras foram colocadas no testador de óleo de transformador, e os eletrodos foram aproximados de forma a pressionar a amostra.

Figura 1. Testador de Óleo Isolante.

Posteriormente montou-se o testador na saída de alta tensão do transformador, assim possibilitando que as amostras possam ser energizadas. Aplicou-se uma tensão até 35 kV em todas as amostras e com o auxílio do osciloscópio digital foi feito a análise de capacitância, permissividade e a rigidez dielétrica, referente a cada amostra. Pôde-se perceber a amplitude crescente de um sinal senoidal até o momento em que ocorre o rompimento do dielétrico da amostra.

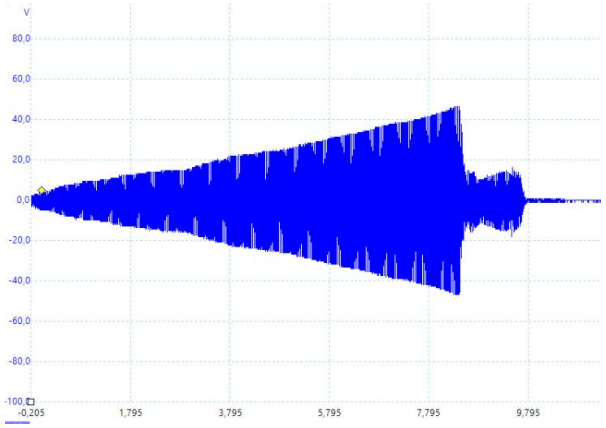


Figura 2. Tensões crescentes senoidais de 60 Hz aplicadas a amostra até o rompimento dielétrico do material, monitoradas pelo osciloscópio digital.

Pode-se observar que no momento que ocorre o rompimento do dielétrico, parte da amostra é danificada, sendo carbonizada em um certo ponto criando um caminho condutor entre os eletrodos, causando um aumento da corrente elétrica e a queda de tensão, como observado na figura 2.

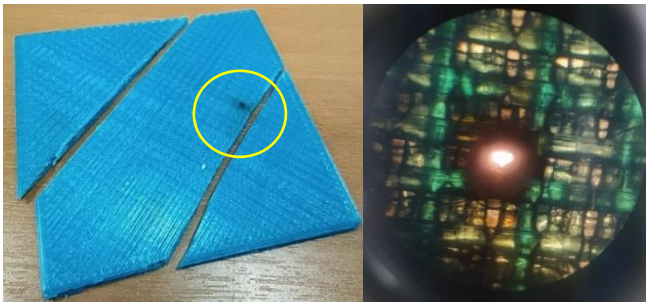


Figura 3. Amostra de 50% após o rompimento do dielétrico.

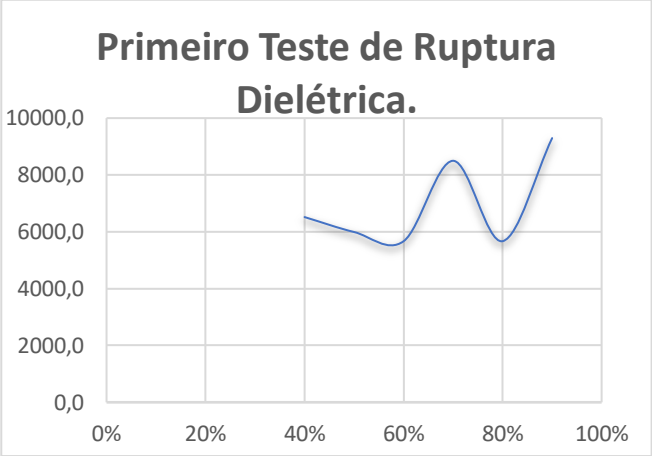
Todas as amostras apresentam após o experimento um ponto com as bordas carbonizadas, como apresentado na figura 3.

Os resultados ruptura dielétrica obtidos a partir dos testes realizados com o osciloscópio digital estão associados na tabela abaixo:

Tabela 2. Dados do Primeiro Teste de Ruptura Dielétrica.

Amostra	Tensão (V)
40%	**6518,0**
50%	**5992,0**
60%	**5668,0**
70%	**8498,0**
80%	**5670,0**
90%	**9296,0**

Gráfico 1. Dados do Primeiro Teste de Ruptura Dielétrica.



Os dados obtidos no segundo teste com as amostras:

Tabela 3. Dados do Segundo Teste de Ruptura Dielétrica.

Amostra	Tensão (V)
40%	6932,0
50%	4566,0
60%	4884,0
70%	8034,0
80%	5034,0
90%	6928,0

Gráfico 3. Dados do Segundo Teste de Ruptura Dielétrica.

Inicialmente observou-se que quanto menor a densidade do material, também era maior a rigidez dielétrica do material, ou seja, maior a sua resistência a tensão. Contudo, mesmo com quantidades diferentes de materiais, ao alcançar 70% de densidade o que se era observado anteriormente passa a não ter nenhum tipo de padrão, quebrando a estatística do que se era esperado.

A permissividade dielétrica das amostras impressas foi-se medida usando um oscilador cujo período do sinal de saída é diretamente proporcional a um determinado capacitor [12]. Denotado como ε, é uma constante física que relaciona a maneira como um campo elétrico é relacionado com o meio, dada por:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \tag{1}$$

Sendo que ε_r é a permissividade relativa e ε_0 é a permissividade no vácuo. Já a capacitância de duas placas paralelas é dada por:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \tag{2}$$

De modo que A é a área da placa e d sendo a distância entre as placas. Como a permissividade dielétrica no ar é muito próxima do vácuo $\varepsilon_r = 1{,}0006$. Logo, a permissividade do material pode ser obtida por (1) e (2), temos que:

$$\varepsilon_r = Cm/C_0 \tag{3}$$

Assim, temos que Cm é a capacitância do capacitor de placas paralelas com a amostra a ser caracterizada e C_0 é a capacitância do capacitor com ar no conjunto.

Simulação Comsol

Com auxílio do software Comsol foram-se realizados testes de simulação [4], [5], com teste de "*Computing Capacitance*" [10] na modelagem multifísica, o uso do COMSOL introduziu-se rapidamente uma modelagem computadorizada para sistemas e dispositivos físicos. Primeiramente foi-se modelado um capacitor, em sua forma mais simples, um dispositivo elétrico de dois terminais que armazena energia quando uma tensão é aplicada nos terminais. Como pode ser observado na figura 4.

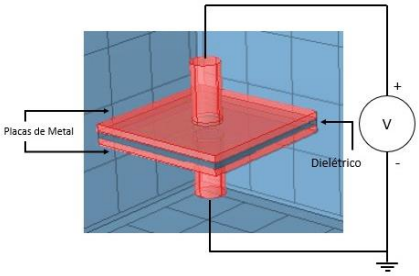


Figura 4. Capacitor simples composto pelo dielétrico com placas de metal em cada lado, e fios condutores.

Na sequência o material ABS foi aplicado na amostra e o campo elétrico foi simulado como representado na Figura 5. O campo é relativamente uniforme entre as placas, mas algumas variações fortes são vistas nas bordas das placas.

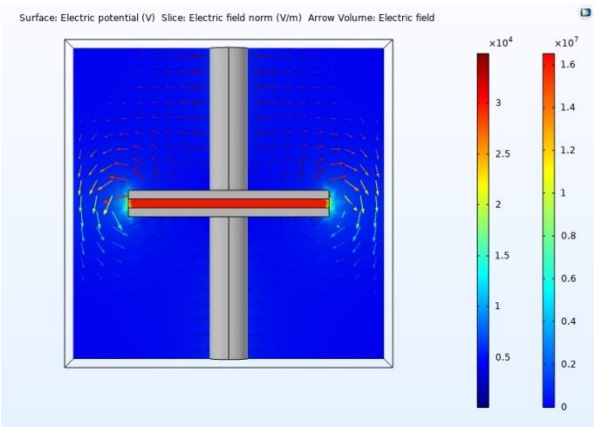


Figura 5. A intensidade do campo elétrico no domínio dielétrico e do óleo em torno do capacitor.

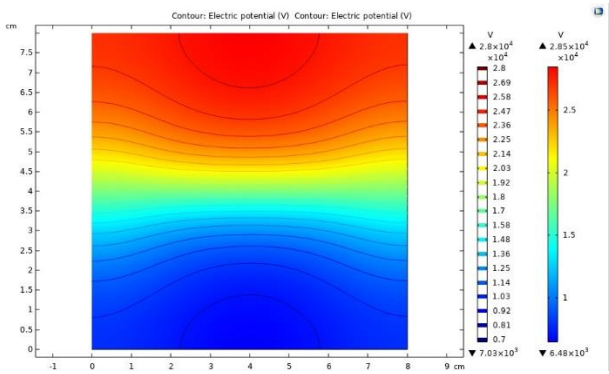


Figura 6. Contornos do campo de tensão através do centro do capacitor.

Fazendo-se a simulação, a capacitância calculada do dispositivo é aproximadamente de $6.662 \cdot 10^{-11} F$ ou $66.62\ pF$.

Considerações Finais

Uma das vantagens na combinação de simulação por computador e experimentos é uma análise teórica e pratica que permite uma comparação dos princípios físicos testados nos dois processos, além da possibilidade de se efetuar um estudo dos princípios elétricos e físicos antes da análise experimental, deste modo, o modelador pode testar inúmeras abordagens diferentes para a solução do mesmo problema. As variações de rigidez dielétrica com os parâmetros variados foram inconclusivas, pois os dados coletados não condizem com o observado na literatura utilizada neste trabalho, indicando a influência de outros parâmetros como a homogeneidade do material. Dada a sua característica eminentemente experimental, e da impossibilidade de uso do laboratório, devido às decorrências da pandemia por covid19, novos trabalhos serão propostos em complemento ao atual.

Referências

[1] CALLISTER, William. Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução . Grupo Gen-LTC, 2000.

[2] CREMASCO, Paula F. Matheus. Instrumentação para a caracterização dielétrica de filmes biodegradáveis. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

[3] KOWALSKI, Edemir Luiz. Estudo da Borracha Natural por meio de Técnicas de Caracterização de Dielétricos. Curitiba: Tese de doutorado, 2006.

[4] MULTIPHYSICS, COMSOL. Introduction to COMSOL multiphysics®. COMSOL Multiphysics, Burlington, MA, accessed Feb, v. 9, p. 2018, 1998.

[5] PRYOR, Roger W. Multiphysics modeling using COMSOL®: a first principles approach. Jones & Bartlett Publishers, 2009.

[6] Wasilkoski C. M. Caracterização do polietileno de baixa densidade através da técnica de análise dinâmico-mecânica e comparação com a análise por impedância dielétrica. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2002.

[7] Das_gupta D. K. Polyethylene: Structure, morphology, molecular motuion and dielectric behaviour. IEEE Electrical insulation magazine, vol. 10, n°3, p 5-15, 1994.

[8] ABNT NBR 5405:2016 Materiais isolantes sólidos Determinação da rigidez dielétrica sob freqüência industrial - Método de ensaio, 2016

[9] ABNT NBR 1991:12133, Líquidos isolantes elétricos Determinação de fator de perdas dielétricas e da permissividade relativa (constante dielétrica), 1991

[10] Computing Capacitance. Comsol, 2018. Disponível em: <https://br.comsol.com/model/download/628691/models.acdc.capacitor_dc.pdf>. Acesso em: 09, agosto de 2020.

[11] DARTORA, C. A. et al. Caracterização experimental da permissividade dielétrica de materiais através da técnica de refletometria no domínio do tempo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 1, p. 1315, 2015.

[12] JÚNIOR, Gilberto da Conceição et al. Caracterização De Materiais Dielétricos Pós Processados Em Impressora 3d. Semict, 2018

[13] J. H. Galeti, R. T. Higuti, C. Kitano and M. J. Connelly, "Polarimetric optical high-voltage sensor using synthetic-heterodyne demodulation and Hilbert transform with gain control feedback", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 23, pp. 417-423, 2017.

[14] J. Galeti, C. Kitano and M. J Connelly, "Improved synthetic-heterodyne Michelson interferometer vibrometer using phase and gain control feedback", Appl. Opt., vol. 54,pp. 10418-10424, 2015.