

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 29/07/2018.

DANIEL CONSOLI SILVEIRA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTRUTURAS ABSORVEDORAS DE
MICRO-ONDAS BASEADAS EM LAMINADO DE FIBRA DE VIDRO/RESINA
EPÓXI/VÉU DE C/Ni**

Guaratinguetá
2016

DANIEL CONSOLI SILVEIRA

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTRUTURAS ABSORVEDORAS DE
MICRO-ONDAS BASEADAS EM LAMINADO DE FIBRA DE VIDRO/RESINA
EPÓXI/VÉU DE C/Ni

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica na
área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Mirabel Cerqueira Rezende

Guaratinguetá – SP
2016

Silveira, Daniel Consoli
S587o Obtenção e caracterização de estruturas absorvedoras de micro-ondas
baseadas em laminado de fibra de vidro/resina epóxi/véu de C/Ni / Daniel
Consoli Silveira – Guaratinguetá, 2016.
172 f. : il.

Bibliografia: f. 142-157

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Engenharia de Guaratinguetá, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho

Coorientadora: Profa. Dra. Mirabel Cerqueira Rezende

1. Materiais compostos 2. Resinas epóxi 3. Fibras de vidro I. Título

CDU 620.1 (043)

DANIEL CONSOLI SILVEIRA

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. EDSON COCCHIÉRI BOTELHO
UNESP/FEG


Prof. Dr. BRUNO RIBEIRO
UNESP/FEG


Prof. Dr. EVANDRO LUÍS NOHARA
UNITAU

Julho de 2016

DADOS CURRICULARES

DANIEL CONSOLI SILVEIRA

NASCIMENTO	18.03.1983 – Itajubá / MG
FILIAÇÃO	José Luz Silveira Rosangela Maris Consoli Silveira
2001/2006	Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Para minha filha, Eduarda, que tanto amo e que sempre buscou ser uma pessoa correta, estudiosa, paciente e esportista.

Para meu pai José, minha mãe Rosangela, meu irmão Felipe e minha irmã Letícia.

AGRADECIMENTOS

Obrigado a Deus!

Ao meu orientador *Prof. Dr. Edson Cocchieri Botelho* e a minha coorientadora *Prof^a. Dr^a. Mirabel Cerqueira Rezende* pela confiança e ensinamentos que me permitiram desenvolver este projeto. Além da amizade desenvolvida, aprimorada e continuada.

Ao Grupo de pesquisas em Materiais Compósitos Avançados do Departamento de Materiais e Tecnologia (DMT) da UNESP/FEG e todos os amigos pesquisadores desse time produtivo: *Alberto Lima Santos, Bruno Ribeiro, Cirlene Fourquet Bandeira, Luiza dos Santos Conejo, Natássia Lona Batista, Samia Danuta.*

Ao time do Laboratório de Guerra Eletrônica (LAB-GE) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em especial ao amigo e conhecedor da área *Newton Adriano dos Santos Gomes.*

Aos professores,

Dr. Luis Rogério de Oliveira Hein, Dr. Evandro Luís Nohara, Dr^a. Michelle Leali Costa, Dr^a. Maria Odila Hilário Cioffi, Dr. Messias Borges Silva, Dr. Marcelo dos Santos Pereira, Dr^a. Luiza de Castro Folgueras.

A todos os professores e técnicos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá, por manter esta casa de maneira acolhedora e produtiva.

Aos amigos da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Aos amigos da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Aos amigos da Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena (USP-EEL). Aos amigos do Instituto de Pesquisa em Bioenergia (IPBEN) e do Laboratório de Otimização em Sistema Energéticos (LOSE) na UNESP FEG.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente ao longo desses anos.

Este trabalho contou com o suporte das seguintes entidades de fomento à pesquisa:

- CAPES
- CNPQ
- FAPESP

RESUMO

Materiais compósitos multifuncionais estão em plenos desenvolvimentos científico e tecnológico, com utilização crescente nos setores espacial, aeronáutico, de telecomunicações e médico. Dentre esses, destacam-se as estruturas absorvedoras de micro-ondas (em inglês – *radar absorbing structures* – RAS). Essas estruturas multifuncionais combinam características de elevada resistência específica e atenuação de micro-ondas. O objetivo deste trabalho é preparar compósitos laminados de tecido de fibras de vidro/resina epóxi (FV/resina epóxi), adequadamente combinados com véu de fibras de carbono metalizado com níquel (C/Ni), avaliando os seus comportamentos eletromagnéticos na faixa de frequências de 8,2 a 12,4 GHz, por meio de medidas dos parâmetros de espalhamento (Par_S). Os materiais precursores foram avaliados por análises térmicas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e termogravimétricas (TGA), de modo a estabelecer o ciclo de cura apropriado a ser utilizado no processo de moldagem por compressão a quente, análises microscópicas e medidas dos Par_S (S_{ii} - refletividade e S_{ij} - transmissão). Para diminuir o caráter refletor identificado no véu de C/Ni foram realizados ataques em soluções de ácido nítrico em distintos tempos de ataque e concentrações. A remoção da camada de níquel foi monitorada via espectroscopia por energia dispersiva (EDS). Apesar da remoção do Ni do véu de C, o seu caráter refletor, como também dos seus laminados, continuou elevado. Esse comportamento mostra potencial de aplicação desses laminados em blindagem eletromagnética. Buscando adequar as características do véu, com a proposta de se obter RAS, esse foi cuidadosamente perfurado com figuras circulares e quadráticas e, em seguida laminado. A caracterização desses novos laminados obtidos mostra valores de atenuação (S_{ii}) de -22,4 dB (> 99% de absorção) em 12,4 GHz (50 Ω). A conversão deste gráfico para 377 Ω , simulando propagação da onda no espaço livre, apresenta uma banda ressonante em 9,3 GHz de aproximadamente -29 dB (~99,9% de absorção). Este resultado mostra a obtenção de RAS, com característica de superfície seletiva de frequência (FSS), graças à periodicidade das figuras vazadas inseridas no véu de C/Ni.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos multifuncionais, Estruturas absorvedoras de micro-ondas, RAS, Compósitos de fibras de vidro/resina epóxi, Véu de C/Ni.

ABSTRACT

Multifunctional composite materials are in full scientific and technological development, with increasing application in the space, aeronautical, telecommunications and medical fields. Among these stand out the radar absorbing structures (RAS). These multifunctional structures combine high specific strength properties with microwaves attenuation. The aim of this work is to process glass fiber fabric/epoxy resin (GF/epoxy resin) laminates properly combined with carbon fiber veil metalized with nickel (C/Ni), evaluating their electromagnetic behaviors in the frequency range from 8.2 to 12.4 GHz, by measurements of their scattering parameters (Par_S). The starting materials were evaluated by thermal analysis, differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetric analysis (TGA), in order to establish the appropriate cure cycle to be used in the hot compression molding process, the materials were also assessed by microscopy and measurements of Par_S (S_{ii} – reflectivity and S_{ij} transmission). To decrease the reflector behavior identified for the C/Ni veil, its surface was treated in nitric acid solutions, with attacks conducted at several attack times and concentrations. The removal of the nickel layer was monitored and confirmed via energy dispersive spectroscopy (EDS). Even though, the C veil as well as its laminates remained with high reflector behavior. This behavior shows potential for the application of these laminates in electromagnetic shielding. Aiming to adequate the veil characteristics for obtaining RAS, the veil was carefully perforated with circular and square figures, and at sequence laminated. The characterization of the novel laminates shows attenuation values (S_{ii}) of -22.4 dB (> 99% absorption) at 12.4 GHz (50 Ω). The conversion of this chart to 377 Ω , simulating wave propagation in free space, has a resonant band at 9.3 GHz with approximately -29 dB (~ 99.9% absorption). This result shows the obtaining of RAS, with characteristics of frequency selective surface (FSS), due to the periodicity of the inserted void figures in the C/Ni veil.

KEYWORDS: Multifunctional composites, Radar absorbing structures, RAS, Glass fiber/epoxy resin composites, C/Ni veil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pá de rotor eólico fabricada com MARE e sendo acoplado em uma turbina Vestas V90 no parque eólico de Swaffham em Norfolk, Reino Unido.	28
Figura 2 – RAS de compósito silicone, pó de ferrocarbonila e camada intermediária de FSS, com absorção banda larga e espessura reduzida. Detalhe da camada FSS do lado direito.	37
Figura 3 – Relação para comprimento de onda e frequência do espectro eletromagnético, correlacionando com aplicações.....	43
Figura 4 – Relação entre campo magnético induzido e campo magnético externo aplicado pela Lei de Lenz.....	45
Figura 5 - Propagação de uma onda eletromagnética em uma linha de transmissão (Z_0) e incidente em um meio material (Z_L).	49
Figura 6 – Incidência e reflexão de uma onda eletromagnética em um material multicamadas, cada qual com sua permissividade elétrica (ϵ), permeabilidade (μ), condutividade (σ) e espessura (d) características.	51
Figura 7 – Representação da incidência, reflexão e transmissão de uma onda eletromagnética em um determinado material.....	53
Figura 8 – Representação de um analisador vetorial de redes com duas portas e respectivos parâmetros S.....	54
Figura 9 – Energias envolvidas durante a interação de uma onda eletromagnética e um material.	56
Figura 10 – Múltiplos fenômenos de reflexão e transmissão de uma onda eletromagnética e um material multicamadas: (a) sem e (b) com placa de metal.	57
Figura 11 – Representação do cancelamento de fase para ondas eletromagnéticas por meio de múltiplas reflexões.	57
Figura 12 – Fluxograma geral do projeto e principais atividades realizadas.	58
Figura 13 – (a) vista do pré-impregnado HexPly® F155 utilizado nesse trabalho, (b) representação esquemática da trama e urdume do tecido de fibras de vidro tipo plain weave 1x1, (c) tecido sem impregnação de resina.	60
Figura 14 – Véu de fibras de carbono metalizadas com níquel da HV & AFN®; (a) visão geral com 200x; (b) detalhe de região com aglutinante poliéster recoberto com níquel, 500x.....	61
Figura 15 – Véu de fibras de carbono após divisão em duas camadas de espessuras menores e consequentemente com gramatura (mg/cm^2) alterada.....	64

Figura 16 – Técnica de inserção de figuras geométricas vazadas no véu de FC: (a) dispositivos de furação circular e quadrática; (b) detalhe da ponta cortante dos dispositivos de furação; (c) furação do véu com posições definidas e véu de FC perfurado.	65
Figura 17 – Molde e dispositivo do processo de moldagem por compressão a quente: (a) placas superior e inferior do molde; (b) dispositivo fabricado por eletro-erosão após moldagem de compósito.	67
Figura 18 – Processo de moldagem por compressão a quente: (a) prensa Carver; (b) detalhe dispositivo e compósito com espessura inferior a 3 mm; (c) dimensões do molde.....	68
Figura 19 – Curva representativa do monitoramento minuto a minuto do aquecimento dos platôs superior e inferior.	69
Figura 20 – Máquina de corte e dispositivos utilizados na preparação de amostras de laminados para avaliações morfológicas e eletromagnéticas.	70
Figura 21 – Microscópio eletrônico de varredura ZEISS EVO LS15, utilizado no presente estudo.	72
Figura 22 – Microscópio Nikon Epiphot 200, utilizado no presente estudo.	73
Figura 23 – Aparelhos e dispositivos utilizados na caracterização eletromagnética: (a) analisador vetorial de redes; (b) guia de ondas e adaptadores; (c) porta-amostra retangular.	74
Figura 24 – Representação do posicionamento do material no porta-amostra do guia de ondas: (a) posicionamento correto; (b) e (c) amostra com desvio dimensional e incorretamente posicionada no porta-amostra.....	75
Figura 25 – Equipamento DSC Q20 da TA Instruments com detalhe do forno aberto do lado direito da imagem.	76
Figura 26 – Equipamento TGA/DTA da SII Nanotechnology com detalhe do forno aberto, balança termogravimétrica e porta-amostra ao lado direito da imagem.....	78
Figura 27 – Curva de DSC modo dinâmico representativa das análises realizadas para o pré-impregnado de FV/resina epóxi.	83
Figura 28 – Gráfico (boxplot) com as temperaturas de cura e de degradação do pré-impregnado de fibras de vidro e resina epóxi.....	86
Figura 29 – Isotermas de cura do pré-impregnado de FV/resina epóxi a 100, 115 e 130 °C.....	87
Figura 30 – Curva de TGA dinâmico do pré-impregnado de FV/resina epóxi em atmosfera oxidativa (ar).	89
Figura 31 – Curvas de TGA dinâmico do pré-impregnado de FV/resina epóxi em atmosfera de N ₂	90
Figura 32 – Curvas de TGA isotérmico do pré-impregnado de FV/resina epóxi em atmosfera oxidativa.....	91

Figura 33 – Orientações das fibras de vidro no material pré-impregnado avaliado na caracterização eletromagnética.	92
Figura 34 – Curvas de S_{22} em função da frequência do pré-impregnado de FV/resina epóxi na orientação 1.	94
Figura 35 – Curvas de S_{22} em função da frequência do pré-impregnado de FV/resina epóxi na orientação 2.	94
Figura 36 – Curvas de S_{24} em função da frequência do pré-impregnado FV/resina epóxi na orientação 1.	95
Figura 37 – Curvas de S_{24} em função da frequência do pré-impregnado FV/resina epóxi na orientação 2.	96
Figura 38 – Esquema que mostra a incidência de uma onda eletromagnética em lados opostos de uma mesma amostra de um material.	97
Figura 39 – Curvas de S_{44} em função da frequência do pré-impregnado FV/resina epóxi na orientação 1.	97
Figura 40 – Curvas de S_{44} em função da frequência do pré-impregnado FV/resina epóxi na orientação 2.	98
Figura 41 – MEV do véu de C/Ni como recebido, com magnificações de (a) 100x, (b) 500x, (c) 1000x, (d) 4000x.	99
Figura 42 – MO do véu de C/Ni como recebido, com a medição do diâmetro da fibra e espaçamento entre elas (100x).	101
Figura 43 – Resultados de EDS do véu de C/Ni, como recebido, no ponto assinalado como ‘Spectrum 1’	102
Figura 44 – Análise de EDS do véu de C/Ni, como recebido, no ponto assinalado como ‘Spectrum 2’	103
Figura 45 – Análise de EDS do véu de C/Ni, como recebido, no ponto assinalado como ‘Spectrum 3’	104
Figura 46 – TGA dinâmico do véu de C/Ni, como recebido, em atmosfera de N_2	105
Figura 47 – Curvas de S_{22} em função da frequência do véu de C/Ni, como recebido.	106
Figura 48 – Curvas de S_{24} em função da frequência do véu de C/Ni, como recebido.	107
Figura 49 – Curvas de S_{44} em função da frequência do véu de C/Ni, como recebido.	108
Figura 50 – Curvas de S_{42} em função da frequência do véu de C/Ni, como recebido.	108
Figura 51 – Curvas de S_{22} em função da frequência do véu de C/Ni após os ataques ácidos... ..	110
Figura 52 – Curvas de S_{42} em função da frequência do véu de C/Ni após os ataques ácidos... ..	112

Figura 53 – MEV do véu de C/Ni após ataque com solução aquosa de HNO_3 (5 mol/L, por 45 min) (a) 100x, (b) 1000x, (c) 4000x, (d) 4000x.	114
Figura 54 – Análises por MEV/EDS representativas do mapeamento químico do véu de C/Ni após o ataque ácido - (a) espectro 1, (b) espectro 2 e (c) espectro 3.	116
Figura 55 – TGA dinâmico do véu de C/Ni após ataque com solução de HNO_3 , em atmosfera de $\text{N}_{2(g)}$	118
Figura 56 – Esquema do caminho percorrido pela onda ao se propagar através do material compósito POPP.	123
Figura 57 – Curvas do parâmetro S_{22} em função da frequência dos laminados de pré-impregnado de FV/resina epóxi e véu de C/Ni.	124
Figura 58 – Curvas do parâmetro S_{44} em função da frequência dos laminados de pré-impregnado de FV/resina epóxi e véu de C/Ni.	124
Figura 59 – Curvas do parâmetro S_{42} em função da frequência dos laminados de pré-impregnados de FV/resina epóxi/véu de FC.	126
Figura 60 – Curvas do parâmetro S_{24} em função da frequência dos laminados de pré-impregnados de FV/resina epóxi/véu de FC.	126
Figura 61 – Curvas do parâmetro S_{22} em função da frequência do véu de C/Ni original com diferentes gramaturas (mg/cm^2).	129
Figura 62 – Véu de C/Ni original com furações (a) circular (V_C) e (b) quadrática (V_Q).	131
Figura 63 – Laminados de FV/resina epóxi e véu com furações (a) circulares (V_C) e (b) quadradas (V_Q).	134
Figura 64 – Parâmetro de espalhamento S_{ii} para um laminado preparado com o uso do véu com furação quadrada.	135
Figura 65 – Parâmetro de espalhamento S_{ii} para um laminado preparado com o uso do véu com furação circular.	137
Figura 66 – Parâmetro de espalhamento S_{ii} da RAS processada pelo uso do véu com furação circular, com impedância do meio convertida para espaço aberto (377Ω).	138
Figura 67 – Representação de um instante t de uma onda eletromagnética de variação senoidal propagando-se ao longo do eixo x.	158
Figura 68 – Detalhe de um elemento infinitesimal de largura dx e altura h do campo elétrico no plano xy.	159
Figura 69 – Detalhe de um elemento infinitesimal para o campo magnético no plano xz.	161
Figura 70 – Gráfico no formato LogM para parâmetro S_{22} durante calibração com uso de placa metálica, resultado correto de atenuação zero dB para material 100% refletor.	164

Figura 71 – Gráfico no formato Carta de Smith para parâmetro S_{22} durante calibração com uso de placa metálica, resultado correto para material 100% refletor.	165
Figura 72 – Gráfico no formato LogM para parâmetro S_{42} durante calibração com uso de placa metálica, resultado correto de atenuação máxima (dB), uma vez que o sinal emitido na porta 2 é impedido de alcançar a porta 4.....	166
Figura 73 – Gráfico no formato LogM para parâmetro S_{42} durante calibração sem material algum no porta-amostra, simulando uma linha de transmissão com casamento de impedâncias quase que perfeito.	167
Figura 74 – Gráfico no formato LogM para parâmetro S_{22} durante calibração sem material algum no porta-amostra, simulando uma linha de transmissão com casamento de impedâncias quase que perfeito.	168
Figura 75 – Gráfico no formato Carta de Smith para parâmetro S_{22} durante calibração sem material algum no porta-amostra, simulando uma linha de transmissão com casamento de impedâncias quase que perfeito.....	169
Figura 76 – Sistema para caracterização RCS: (1) Alvo MARE; (2) Antenas geradora e receptora; (3) Gerador de micro-ondas.	170
Figura 77 – Arco NRL.....	171
Figura 78 – Esquema representativo da técnica perda por inserção entre antenas.....	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relações constitutivas para meios de propagação isotrópica.	47
Tabela 2 – Condições dos ataques com ácido HNO ₃	62
Tabela 3 – Diluição e preparação das soluções com concentrações ácidas desejadas.....	63
Tabela 4 – Parâmetros utilizados nas análises de DSC do pré-impregnado FV/resina epóxi.	77
Tabela 5 – Parâmetros utilizados nas análises termogravimétricas.....	79
Tabela 6 – Variáveis utilizadas nas análises por DSC em modo dinâmico, aplicando DOE.....	82
Tabela 7 – Matriz de planejamento e valores obtidos para variáveis de resposta das análises de DSC modo dinâmico.	84
Tabela 8 – Mapeamento químico por EDS da região indicada na Figura 43.	102
Tabela 9 - Mapeamento químico por EDS da região indicada na Figura 44.....	103
Tabela 10 – Mapeamento químico por EDS da região indicada na Figura 45.	104
Tabela 11 – Teores químicos em porcentagem em massa determinados por EDS das amostras de véu com ataque ácido (regiões indicadas na Figura 54).....	117
Tabela 12 – Alguns resultados das curvas TGA/DTG dinâmico para o véu de C/Ni como recebido, após ataque com solução de HNO ₃ e para o pré-impregnado de FV/resina epóxi. ...	120
Tabela 13 – Famílias de compósitos laminados eletromagneticamente caracterizados.	122
Tabela 14 – Amostras de véu com gramaturas (mg/cm ²) alteradas via remoção de filamentos de fibras de carbono.	128
Tabela 15 – Correlação entre gramatura (mg/cm ²) e o parâmetro S ₂₂ (dB) para os véus 545 e 52.	130
Tabela 16 – Dimensões das furações, circular e quadrática, feitas no véu de C/Ni original.....	132
Tabela 17 – Sequência de empilhamento de camadas na laminação manual das RAS baseadas no pré-impregnado de FV/resina epóxi combinado com o véu C/Ni com furação.	133
Tabela 18 – Valores das constantes de permissividade (ϵ_0) e permeabilidade (μ_0) no espaço livre.	162

LISTA DE ABREVIATURAS

ABS	- Acrilonitrila-butadieno-estireno
AFP	- <i>Automated fiber placement</i> (Aplicação automatizada de fibras)
ASTM	- American Society for Testing and Materials
ATP	- <i>Automated tape placement</i> (Aplicação automatizada de fitas)
AVR	- Analisador vetorial de redes
BA	- Bisfenol A
CD	- <i>Cross machine direction</i> (Direção cruzada de máquina)
CF	- <i>Carbon fiber</i> (Fibra de carbono)
CZ BSD	- <i>Backscattered electron detector</i> (Detetor de elétrons retroespalhados)
DGEBA	- Diglicidil éter de bisfenol A
DGEBF	- Diglicidil éter de bisfenol F
DIC	- <i>Differential interference contrast</i> (Contraste de interferência diferencial)
DOE	- <i>Design of experiments</i> (Planejamento de experimentos)
DSC	- Calorimetria exploratória diferencial
DTG	- Curva de derivada termogravimétrica
EDS	- Espectroscopia por energia dispersiva
EMA	- <i>Effective medium analysis</i> (Análise efetiva do meio material)
EMI	- <i>Electromagnetic interference</i> (Interferência eletromagnética)
FC	- Fibra de carbono
FEG	- Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
FG	- Flocos de grafite
FSS	- <i>Frequency selective surface</i> (Superfície seletiva de frequência)
FT-IR	- <i>Fourier transform infrared spectroscopy</i> (Espectrometria de infravermelho por transformada de Fourier)
FV	- Fibra de vidro
GF	- <i>Glass fiber</i> (Fibra de vidro)
GPS	- <i>Global positioning system</i> (Sistema global de posicionamento)
HS	- <i>Harness satin</i>
ITA	- Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LAIMat	- Laboratório de Imagens da UNESP/FEG

LFR	- <i>Long fiber reinforcement</i> (Reforço de fibra longa)
LGE	- Laboratório de Guerra Eletrônica
LT	- Linha de transmissão
MARE	- Material absorvedor de radiação eletromagnética
MD	- <i>Machine direction</i> (Direção de maquina)
MEV	- Microscopia eletrônica de varredura
MIR	- <i>Middle infrared</i> (Infravermelho médio)
MIT	- Massachusetts Institute of Technology
MO	- Microscopia óptica
NFC	- Nanofibras de carbono
NIR	- <i>Near infrared</i> (Infravermelho próximo)
PAN	- Poliacrilonitrila
Par_S	- Parâmetros de espalhamento
PC	- Policarbonato
pH	- Potencial hidrogeniônico
PMMA	- Polimetilmetacrilato
PPS	- <i>Periodic patterns surface</i> (Superfície de padrões periódicos)
RAS	- <i>Radar absorbing stucture</i> (Estrutura absorvedora de micro-ondas)
RAS FSS Circ	- Estrutura absorvedora de micro-ondas com véu FSS de furação circular
RAS FSS Quad	- Estrutura absorvedora de micro-ondas com véu FSS de furação quadrática
RCS	- <i>Radar cross section</i> (Seção reta radar)
RTM	- <i>Resin transfer molding</i> (Moldagem por transferência de resina)
SE	- <i>Secondary electrons</i> (Elétrons secundários)
SEM	- <i>Scanning electron microscopy</i> (Microscopia eletrônica de varredura)
SWCNT	- <i>Single wall carbon nanotubes</i> (Nanotubos de carbono de parede simples)
TGA	- Análise termogravimétrica
UNESP	- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Véu 545	- Véu de FC e níquel submetido a ataque em solução ácida de HNO ₃ com concentração de 5 mol/L e com duração do ataque igual a 45 minutos
Véu 52	- Véu de FC e níquel submetido a ataque em solução ácida de HNO ₃ com concentração de 5 mol/L e com duração do ataque igual a 120 minutos
WD	- <i>Working distance</i> (Distância de trabalho)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1. Considerações gerais.....	21
1.2. Objetivo do trabalho	22
1.3. Organização da dissertação.....	23
2. REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1. Materiais absorvedores de ondas eletromagnéticas e proteção eletromagnética	25
2.1.1. Estruturas absorvedoras de ondas eletromagnéticas (RAS)	32
2.2. Espectro das ondas eletromagnéticas e as micro-ondas.....	42
2.3. Materiais e meios eletromagnéticos.....	44
2.4. Propagação das ondas eletromagnéticas em meios específicos	46
2.4.1. Linhas de transmissão e guia de ondas para micro-ondas	48
2.5. Coeficiente de reflexão (Γ) e coeficiente de transmissão (T)	52
2.6. Parâmetros de espalhamento (S).....	53
2.7. Atenuação (dB), atenuação (%) e refletividade (dB).....	55
3. MATERIAIS E MÉTODOS	58
3.1. Materiais	59
3.2. Tratamentos do véu de FC/Ni	61
3.2.1. Tratamentos ácidos	61
3.2.2. Alteração da gramatura.....	63
3.2.3. Inserção de figuras geométricas vazadas no véu de FC	64
3.3. Processamento dos compósitos laminados	66
3.4. Preparação dos corpos de prova	69
3.5. Caracterizações.....	71
3.5.1. Análise morfológica via MEV.....	71
3.5.2. Análise morfológica via MO	72
3.5.3. Caracterização dos parâmetros eletromagnéticos.....	73

3.5.4.	Análises térmicas.....	75
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1	Caracterização do pré-impregnado de FV/resina epóxi.....	81
4.1.1.	Análises térmicas.....	81
4.1.2.	Caracterização eletromagnética.....	92
4.2	Caracterização do véu de C/Ni	98
4.2.1.	MEV/EDS.....	99
4.2.2.	TGA.....	104
4.2.3.	Caracterização eletromagnética.....	105
4.3.	Caracterização do véu de C/Ni após os ataques ácidos	109
4.3.1.	Caracterização eletromagnética.....	109
4.3.2.	MEV/EDS.....	113
4.3.3.	TGA.....	117
4.4.	Processamento e caracterização eletromagnética dos compósitos de FV/resina epóxi/véu de C/Ni.....	120
4.5.	Desenvolvimento de RAS com véu de C/Ni de menor gramatura e com furações repetitivas.....	127
5.	CONCLUSÕES.....	139
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	141
7.	REFERÊNCIAS	142
	ANEXO 1 - Compreendendo as ondas eletromagnéticas	158
	APÊNDICE 1 - Aferição e calibração do sistema de medidas com guia de ondas.....	163
	APÊNDICE 2 - Técnicas de caracterização eletromagnética dos materiais	170

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

Grande parte dos avanços tecnológicos da sociedade moderna vem ocorrendo a partir da introdução de novos materiais e estruturas de engenharia. Dentre os materiais atualmente disponíveis destacam-se os materiais avançados e multifuncionais, os quais deixam de ser meramente passivos, para tornarem-se intrinsecamente ativos, combinando, por exemplo, resistência mecânica para suportar distintos esforços solicitantes, com propriedades magnéticas, térmicas, ópticas, dentre outras (GIBSON, 2010; GIBSON, 2012; SILVEIRA, 2015).

O desenvolvimento de novos materiais baseados em estruturas multifuncionais passa pela combinação de materiais com duas ou mais funções, podendo-se citar, por exemplo, a combinação de requisitos estruturais com outras não relacionadas à resistência mecânica. Sendo assim, podem ser combinados materiais com características de elevada rigidez, resistência à tração, resistência à flexão, com materiais não estruturais, mas que apresentam propriedades como condutividades elétrica e térmica, capacidade de autocura (*self-healing materials*), propriedades eletromagnéticas, biodegradabilidade, detecção e acionamento, dentre outras. Neste sentido, podem-se incluir os materiais compósitos nanoestruturados, os quais têm permitido a obtenção de propriedades mecânicas notáveis (GIBSON, 2010).

Entre os materiais compósitos multifuncionais têm-se as denominadas estruturas absorvedoras de radiação eletromagnética (*Radar Absorbing Structures* – RAS). Essas estruturas possuem a capacidade de suportar esforços mecânicos, portanto apresentam propriedades estruturais, associadas à característica inerente de atenuar a energia eletromagnética (SEO *et al.*, 2004).

As RAS quando são atingidas por uma onda eletromagnética, devido às suas características físico-químicas, sofrem excitação molecular e a energia da radiação eletromagnética, no caso deste trabalho ondas na faixa de frequências das micro-ondas (8,2 a 12,4 GHz), é parcial ou totalmente convertida em energia térmica (NOHARA, 2003).

Esse fenômeno é atribuído ao fato desses materiais (inseridos na denominada classe de materiais absorvedores de radiação eletromagnética - MARE) apresentarem em sua composição componentes, partículas, fases poliméricas, entre outros, com características elétricas e/ou magnéticas, que interagem com os campos elétrico e/ou magnético da onda. Nesse caso, os elétrons, núcleos, dipolos permanentes e dipolos induzidos do material são forçados a se movimentarem, induzindo corrente elétrica e causando efeito Joule. No caso das partículas apresentarem a impossibilidade de movimentação livre, ocorre reorientação das mesmas, entrando em fase com o campo eletromagnético e promovendo também a dissipação de energia da onda (JACOB *et al.*, 1995).

Ao sofrer depreciação do nível energético por efeito Joule no interior do material, a onda não é refletida ou é refletida com menor intensidade à fonte que a emitiu, diminuindo, assim, a sua detecção. Essa característica confere a denominada “transparência do objeto” na faixa de micro-ondas e permite muitas aplicações associadas a esses materiais em diferentes setores da sociedade. Dentre essas se destacam as aplicações de uso militar e de instituições governamentais no atendimento de suas respectivas legislações, quanto ao controle de radiações espúrias na faixa das micro-ondas. No entanto, o decréscimo/eliminação de radiação eletromagnética espúria tem também atraído a atenção de vários setores civis da sociedade, com inúmeras aplicações em indústrias de eletroeletrônicos, telecomunicações, computação, aparelhos eletrodomésticos, médicos, dentre outras (FOLGUERAS, 2005).

Considerando a crescente importância dos MARE, mais particularmente das RAS, em diferentes setores da sociedade, e os estimulantes desafios de processamento das denominadas estruturas absorvedoras de micro-ondas, o desenvolvimento deste trabalho foi motivado no sentido de contribuir com o domínio do processamento e caracterização dessa classe de materiais.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste estudo pode-se concluir que os objetivos propostos neste trabalho de pesquisa foram alcançados com êxito. Uma vez que, foram desenvolvidas, processadas e caracterizadas as estruturas multicamadas absorvedoras de radiação eletromagnética (RAS), de 3 mm de espessura, pelo uso de pré-impregnados de FV/resina epóxi e véu de FC metalizado com níquel. Os laminados multifuncionais obtidos pelo uso do véu com furos pré-estabelecidos apresentam atenuação em faixa ampla de frequências com valor máximo de até 99,4% das micro-ondas incidentes na banda X (8,2 a 12,4 GHz), podendo-se afirmar que a obtenção de RAS foi atingida, com característica de superfície seletiva de frequências.

A partir dos resultados obtidos conclui-se ainda que:

- Os parâmetros de espalhamento, refletividade (S_{ii}) e transmissão (S_{ij}), do material pré-impregnado de FV/resina epóxi curado mostram que o mesmo se comporta como material transparente à propagação das micro-ondas na banda X, com reflexão de apenas 1,3% da radiação incidente. As avaliações também mostram que o posicionamento e a orientação das fibras de vidro não afetam os parâmetros de espalhamento.

- A caracterização eletromagnética do véu de fibras de carbono metalizado com níquel mostra valores elevados de refletividade ($> 90\%$), evidenciando o seu caráter metálico. Após ataques em soluções ácidas de HNO_3 , com a redução do teor níquel para valores praticamente nulos, a refletividade diminuiu em torno de 13,6%. Porém, o comportamento metálico do véu de carbono ainda é evidente. Já o estudo da diminuição da gramatura do véu C/Ni por meio da remoção de filamentos de fibras de carbono mostrou-se mais eficaz na diminuição da refletividade do mesmo.

- Compósitos multicamadas processados a partir de pré-impregnados de FV/resina epóxi e véu de C/Ni, com e sem ataques ácidos, não apresentaram valores expressivos de atenuação das micro-ondas. Este tipo de compósito, apesar de apresentar características refletoras e não absorvedoras de micro-ondas, pode ser considerado para aplicação, por exemplo, em blindagem eletromagnética.

- Compósitos multicamadas processados a partir de pré-impregnados de FV/resina epóxi e véu de C/Ni com furações circulares e quadradas apresentaram bons

resultados de atenuação em faixas estreitas de frequências, evidenciando a efetividade desta técnica utilizada no ajuste do casamento de impedâncias entre o laminado e a propagação da onda no espaço livre. A partir dos resultados obtidos pode-se considerar que RAS foram obtidas associadas ao conceito de superfícies seletivas de frequências, em função da periodicidade das furações realizadas no véu.

7. REFERÊNCIAS

- Adams Louis W., Gilpatrick Michael W., Gregory Richard V., **Method for generating a conductive fabric and associated product**. US 5292573 A, 11 fev. 1992, 8 mar. 1994.
- AHMED, A., 2000, **“Eletrônica de potência”**, Prentice Hall, São Paulo, Brasil, p. 479.
- ALVES, M. A., PORT, R. J., REZENDE, M. C., 2008, **“Simulation of radar absorbing materials using the finite element method: an educational approach”**, Anais do 13º Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 8º Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, Florianópolis.
- AL-SALEH, M. H., SUNDARARAJ, U., 2009, **“Electromagnetic interference shielding mechanisms of CNT/polymer composites”**, Carbon, Volume 47, Issue 7, p. 1738 – 1746.
- ALVES, M. A., PORT, R. J., REZENDE, M. C., 2007, **“Simulations of the radar cross section of a stealth aircraft”**, Proceedings of the IEEE, v.1, p. 409-412, 2007.
- ALVES, M. A., FOLGUERAS, L. C., REZENDE, M. C., 2011, **“Reduction of the radar cross section of a wind turbine using a microwave absorbing material”**, IEEE, p. 551 – 555.
- ANDRADE, H. P. C., DINIZ, M. F., AZEVEDO, M. F. P., CASSU, S. N., LOURENÇO, V. L., DUTRA, R. C. L., 2008, **“Comportamento de cura de adesivo epoxídico contendo grupo mercaptana avaliado por espectroscopia no infravermelho (MIR/NIR) e calorimetria exploratória diferencial (DSC)”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Volume 18, Número 4, p. 359 – 365.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **E2550:2011**, Standard Test Method for Thermal Stability by thermogravimetry. West Conshohocken.
- ATKINS, P., JONES, L., 2012, **“Princípios da química questionando a vida moderna e o meio ambiente”**, 5ª Ed., Artmed Editora S.A., Bookman, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- BAJPAI, M., SHUKLA, V., KUMAR, A., 2002, **“Film performance and UV curing of epoxy acrylate resins”**, Progress in Organic Coatings, Volume 44, Issue 4, p. 271 – 278.
- Bettermann Joachim, Frye Andreas. **Rotor blade with an integrated radar absorber for a wind power plant**. US 8932025 B2, 16 May 2009, 13 Jan 2015.
- BOTELHO, E. C., SILVA, R. A., PARDINI, L. C., REZENDE, M. C., 2006, **“A review on the development and properties of continuous fiber/epoxy/aluminum hybrid composites for aircraft structures”**, Materials Research, Volume 9 (3).

BROCKS, T., 2011, **“Compósito estrutural carbono/epóxi via RTM para aplicação aeronáutica: processamento e caracterização”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, área de Materiais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Guaratinguetá, São Paulo.

BROSSEAU, C., 2006, **“Modelling and simulation of dielectric heterostructures: a physical survey from an historical perspective”**, Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 39, Number 7, p. 1277 – 1294.

BROSSEAU, C., BEROUAL, A., 2003, **“Computational electromagnetics and the rational design of new dielectric heterostructures”**, Progress in Materials Science, Volume 48, Issue 5, p. 373 – 456. doi:10.1016/S0079-6425(02)00013-0.

BROWN, L. S., HOLME, T. A., 2010, **“Química geral aplicada à engenharia”**, Cengage Learning Edições Ltda, São Paulo, p. 107-108.

CANEVAROLO, S. V. Jr., 2004, **“Técnicas de caracterização de polímeros”**, Artliber Editora Ltda, São Paulo, p. 448.

CAO, M-S., SONG, W-L., HOU, Z-L., WEN, B., YUAN, J., 2010, **“The effects of temperature and frequency on the dielectric properties, electromagnetic interference shielding and microwave-absorption of short carbon fiber/silica composites”**, Carbon, Volume 48, Issue 3, p. 788 – 796.

CARVALHO, M. I. B. de., 2005, **“Guias de Onda”**, Portugal, Universidade do Porto. p. 91. Disponível em: < https://web.fe.up.pt/~hsalgado/ETeorica/docs/guias_v2.pdf>. Acesso em: 02 nov.2001.

CHAKRAVARTY, S., MITTRA, R., WILLIAMS, N. R., 2001, **“Microwave Theory and Techniques”**, IEEE Transactions on Microwave Theory, Volume 49 (6), p. 1050 – 1059.

CHANG, H., YEH, Y., HUANG, K., 2010, **“Electromagnetic shielding by composite films prepared with carbon fiber, Ni nanoparticles and multi-walled carbon nanotubes in polyurethane”**, Materials Transactions, Volume 51, Issue 6, p. 1145 – 1149.

CHEN, L. F., ONG, C. K., NEO C. P., VARADAN, V. V., VARADAN, V. K., 2004, **“Microwave Electronics Measurement and Materials Characterization”**, John Wiley & Sons Ltd, England.

CHEN, S., KUIZHI, Y., HU, B., GUO, R., 2015, **“Numerical simulation on the radar cross section of variable-sweep wing aircraft”**, Journal of Aerospace Technology and Management, Volume 7, Number 2, p. 170 – 178.

CHEN, X-G., YE, Y., CHENG, J-P, 2011, **“Recent progress in electromagnetic wave absorbers”**, Journal of Inorganic Materials, Volume 26.

CHIN, W. S., LEE, D. G., 2007, **“Development of the composite RAS (radar absorbing structure) for the X-band frequency range”**, Composite Structures, Volume 77(4), p. 457 – 465.

CHUNG, B. K., CHUAH, H. T., 2003, **“Modeling of RF absorber for application in the design of anechoic chamber”**, Progress In Electromagnetics Research, Volume 43, p. 273-285. doi:10.2528/PIER03052601.

CHUNG, D. D. L., 2001, **“Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials”**, Carbon, Volume 39, p. 279 – 285.

COLLIN, R. E., 2001, **“Foundations for microwave engineering”**, 2nd Ed., John Wiley & Sons, INC, NJ, USA, p. 912.

CONEJO, L. S., 2015, **“Obtenção e caracterização térmica de compósitos nanoestruturados de resina fenol-furfurílica/CNT”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, área de Materiais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Guaratinguetá, São Paulo.

COSTA, F., MONORCHIO, A., MANARA, G., 2010, **“Analysis and design of ultra thin electromagnetic absorbers comprising resistively loaded high impedance surfaces”**, Antennas and Propagation, IEEE Transactions, Volume 58, Issue 5, p. 1551 – 1558. Doi: 10.1109/TAP.2010.2044329.

COSTA, M. L., 1998, **“Estabelecimento de parâmetros de processamento de compósitos estruturados via análise térmica e viscosimétrica”**, Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

COSTA, M. L., REZENDE, M. C., BOTELHO, E. C., 2005, **“Estabelecimento de ciclo de cura de pré-impregnados aeronáuticos”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Volume 15, Número 3, p. 224 – 231.

COSTA, M. L., REZENDE, M. C., PARDINI, L. C., 2000, **“Estudo da influência do diluente reativo PGE na cinética de cura de resina epóxi utilizada em compósito estrutural”**, Química Nova, Volume 23(3), <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422000000300008>.

COSTA, M. L., REZENDE, M. C., PARDINI, L. C., 1999, **“Métodos de estudo da cinética de cura de resinas epóxi”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Abr/Jun-99, p. 37 – 44.

COSTA, M. L., de PAIVA, J. M. F., BOTELHO, E., REZENDE, M. C., 2003, **“Avaliação térmica e reológica do ciclo de cura o pré-impregnado de carbono/epóxi”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Volume 13, Número 3, p. 188 – 197.

DAS, N. V., KHAHGIR, D., CHAKI, T. K., CHAKRABORTY, A., 2000, **“Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon black and carbon**

fibre filled EVA and NR based composites”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 31, Issue 10, p. 1069 – 1081.

De ROSA, I. M., SARASINI, F., SARTO, M. S., TAMBURRANO, A., 2008, **“EMC impact of advanced carbon fiber/carbon nanotube reinforced composites for next-generation aerospace applications”**, Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions, Volume 50, Issue 3, p. 556 – 563. Doi: 10.1109/TEMPC.2008.926818.

De ROSA, I. M., DINESCU, A., SARASINI, F., SARTO, M. S., TAMBURRANO, A., 2010, **“Effect of short carbon fibers and MWCNTs on microwave absorbing properties of polyester composites containing nickel-coated carbon fibers”**, Composite Science and Technology, Volume 70, Issue 1, p. 102 – 109. Doi: 10.1016/j.compscitech.2009.09.011.

DIAS, J. C., 2000, **“Obtenção de revestimentos absorvedores de radiação eletromagnética (2 – 18 GHz) aplicados no setor aeronáutico”**, Tese de Doutorado em Ciências, Área Física de Plasma, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

DI LIELLO, V., MARTUSCELLI, E., RAGOSTA, G., ZIHLIF, A., 1990, **“Tensile properties and fracture behavior of polypropylene-nickel-coated-fiber composite”**, Journal of Materials Science, Volume 25, p. 706 – 712.

EMERSON, W., 1973, **“Electromagnetic wave absorbers and anechoic chambers through the years”**, Antennas and Propagation, IEEE Transactions, vol. 21 (4), p. 484 – 490. doi 10.1109/TAP.1973.1140517.

FAN, Y., YANG, H., LIU, X., ZHU, H., ZOU, G., 2007, **“Preparation and study on radar absorbing materials of nickel-coated carbon fiber and flake graphite”**, Journal of Alloys and Compounds, Volume 461, p. 490 – 494.

FANTE, R. L., McCORMACK, M. T., 1988, **“Reflection properties of the Salisbury screen”**, Antennas and Propagation, IEEE Transactions, vol. 36 (10), p. 1443 – 1454. doi 10.1109/8.8632.

FENZO, A. D., FORMICOLA C., ANTONUCCI, V., ZARRELLI, M., GIORDANO, M., 2009, **“Effects of zinc-based flame retardants on the degradation behavior of an aerospace epoxy matrix”**, Polymer Degradation and Stability, Volume 94, p. 1354 – 1363.

Finley Matthew, Perkins John, Torok Peter Z., Foster Robert H., Cowperthwait Robert, Beswick John H., Inman David. **Conductive plastic overmold on shielded plastic window**. US 9072162 B2, 19 nov. 2010, 30 jun. 2015.

FOLGUERAS, L. D. C., 2005, **“Obtenção e caracterização de materiais absorvedores de micro-ondas flexíveis impregnados com polianilina”**, Tese de Doutorado em Ciências, Área Física e Química dos Materiais Aeroespaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FRANCHITTO, M., 2001, **“Caracterização eletromagnética de materiais absorvedores de micro-ondas”**, Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FREITAS, R. L. B., 2012, **“Fabricação, caracterização e aplicações do compósito PZT/PVDF”**, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Ilha Solteira, p. 124.

FRIEDRICH, L. A., 2006, **“Avaliação da tensão interfacial dinâmica em revestimentos epóxi do tipo DGEBA modificada com agentes de cura à base de amina”**, Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Federal da Bahia, Campus de Ondina, p. 87.

GANGLOFF Jr, J. J., SIMACEK, P., SINHA, S., ADVANI, S. G., 2014, **“A process model for the compaction and saturation of partially impregnated thermoset prepreg tapes”**, Composites: Part A, Volume 64, p. 234 – 244.

GAMA, A. M., 2009, **“Comportamento da permissividade e permeabilidade complexas, de 2 a 18 GHz, de absorvedores de micro-ondas à base de ferro carbonila e ferrita MnZn”**, Tese de Doutorado em Ciências, Área Física e Química dos Materiais Aeroespaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 60-64.

GEETHA, S., KUMAR, K. K. S., RAO, C. R. K., VIJAYAN, M., TRIVEDI, D. C., 2009, **“EMI Shielding: Methods and Materials – A Review”**, Journal of Applied Polymer Science, Volume 112, p. 2073 – 2086.

GIANNAKOPOULOU, T., KOMPOTIATIS, L., KONTOGEORGAKOS, A., KORDAS, G., 2002, **“Microwave behavior of ferrite prepared via sol-gel method”**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 246, Issue 3, p. 360 – 365.

GIBSON, R. F., 2012, **“Principles of composite material mechanics”**, 3rd Ed., CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, USA, p. 25-28.

GIBSON, R. F., 2010, **“A review of recent research on mechanics of multifunctional composite materials and structures”**, Composite Structures, Volume 92, Issue 12, p. 2793–2810.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, **“Global wind capacity increases by 22% in 2010 - Asia leads growth”**, Disponível em: <http://www.gwec.net/>. Acesso em: 20.FEV.2016.

GOLDSTEIN, J. I., NEWBURY, D. E., ECHLIN, P., JOY, D. C., ROMIG, A. D., LYMAN, C. E., FIORI, C., LIFSHIN, E., 2003, **“Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis”**, 3rd Ed, Springer Science+Business Media, LLC.

GRIMBERG, R., PRÉMEL, D., LEMISTRE, M., BALAGEAS, D., PLACKO, D., 2001, **“Nondestructive evaluation of materials and composites by electromagnetic methods”**, Proceedings of SPIE, Vol. 4336.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., KRANE, K. S., 2004, **“Física 4”**, 5ª Edição, LTC, Rio de Janeiro, Brasil, p. 4-5.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., KRANE, K. S., 2004, **“Física 3”**, 5ª Edição, LTC, Rio de Janeiro, Brasil, p. 320-329.

Halpern Otto. **Method and means for minimizing reflection of high frequency radio waves**. US 2923934 A, 5 mar. 1945, 2 fev. 1960.

Halpern Otto, Jr. Montgomery H. Johnson, Rufus W. Wright. **Isotropic absorbing layers**. US 2951247 A, 19 fev. 1946, 30 ago. 1960.

HEXCEL®, **HexPly® F155 Resin systems for advanced composites**, disponível em <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Prepreg-Data-Sheets/F155_us.pdf>, acessado em 04 de maio de 2016.

HOLLINGSWORTH & VOSE, **ADVANCED FIBER NONWOVENS**, <<http://www.hollingsworth-vose.com/en/Products/Industrial-Products/Advanced-Fiber-Nonwovens/Surfacing-Veils/>>, acessado em 04 de maio de 2016, 2005.

HUANG, C-Y., MO, W-W., 2002, **“The effect of attached fragments on dense layer of electroless Ni/P deposition on the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon fibre/acrylonitrile–butadiene–styrene composites”**, Surface and Coatings Technology, Volume 154, Issue 1, p. 55 – 62.

HUANG, C-Y., MO, W-W., ROAN, M-L., 2004, **“Studies on the influence of double-layered electroless metal deposition on the electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon fiber/ABS composites”**, Surface and Coatings Technology, Volume 184, Issues 2-3, p. 163 – 169.

JACOB, A., 2008, **“European production of reinforced plastics up 6% in 2006”**, Reinforced Plastics, Volume 51, Issue 11, p. 38 – 39, 41.

JACOB, J., CHIA, L. H. L., BOEY, F. Y. C., 1995, **“Thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials”**, Journal of Materials Science, Volume 30, Issue 21, p. 5321–5327.

JAGATHEESAN, K., RAMASAMY, A., DAS, A., BASU, A., 2015, **“Fabrics and their composites for electromagnetic shielding applications”**, Textile Progress, Volume 47, Issue 2, p. 87 – 161. DOI:10.1080/00405167.2015.1067077.

JANG, H. K., CHOI, W. H., SHIN, J. H., SONG, T. H., KIM, J. K., KIM, C. G., KIM, J. B., LIM, D. W., 2011, **“Radar absorbing structure with periodic pattern surfaces for wind turbine blades”**, 18TH International Conference on Composite Materials.

JANG, H. K., LEE, W. J., LEE, S. E., KIM, C. G., KIM, J. B., 2009, **“The study of radar absorbing structures for wind power turbine blades”**, KAIST Open Access Self-Archiving System.

JENN, D. C., 2005, **“Radar and laser cross section engineering”**, 2nd Ed., AIAA education series, Reston, VA, Estados Unidos. p. 503.

JENN, D., TON, C., 2012, **“Wind turbine radar cross section”**, International Journal of Antennas and Propagation, Volume 2012, Article ID 252689, 14 pages, doi:10.1155/2012/252689.

JOHNSON, W. C., 1980, **“Linhas de transmissão e circuitos”**, Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, Brasil, p. 360.

JUNG, W-K., KIM, B., WON, M-S., AHN, S-H., 2006, **“Fabrication of radar absorbing structure (RAS) using GFR-nano composite and spring-back compensation of hybrid composite RAS shells”**, Composites Structures, Volume 75, Issues 1-4, p. 571 – 576. doi:10.1016/j.compstruct.2006.04.077.

KARMEL, P. R., COLEF, G. D., CAMISA, R. L., 1998, **“Introduction to Electromagnetic and Microwave Engineering”**, John Wiley & Sons, INC, EUA & Canada. p. 150-155, 293-335, 560-595, 614.

KERSTING, D. de F., 2004, **“Avaliação de resinas epóxi para fabricação de materiais compósitos pelo processo de pultrusão”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 102.

KIM, J., LIM, D., 2014, **“Reduction of radar interference – stealth wind blade structure with carbon nanocomposite sheets”**, Wind Energy, 17, p. 451-460.

KIM, J. B., LEE, S. K., KIM, C. G., 2008, **“Comparison study on the effect of carbon nano materials for single-layer microwave absorbers in X-band”**, Composites Science and Technology, Volume 68, p. 2909-2916.

KIM, S-H., PARK, Y-G, KIM, S-S., 2007, **“Double-layered microwave absorbers composed of ferrite and carbon fiber composite laminates”**, Phys. Stat. Sol., (c)4, No. 12, p. 4602 – 4605. doi: 10.1002/pssc.200777374.

KIRK, R. E., 1978 – 1984, **“Encyclopedia of chemical technology”**, 3rd Ed., Wiley – Interscience. New York.

KNOTT, E. F., 1993, **“Radar cross section measurements”**, 1st Ed., Van Nostrand Reinhold, Thomson Publishing Co., New York, USA.

KNOTT, E. F., SHAEFFER, J. F., TULEY, M. T., 1985, **“Radar cross section, its prediction, measurement and reduction”**, Artech House, London, UK.

KRAUS, J. D., FLEISCH, D. A., 1999, **“Electromagnetics with applications”**, WCB/McGraw-Hill, USA.

LAVERGHETTA, T. S., 1988, **“Modern microwave measurements and techniques”**, Artech House INC, Norwood, USA. p. 65-128.

LEDERER, P. G., 1986, **“An introduction to radar absorbent materials (RAM)”**, Royal Signals and Radar Establishment, Malvern, England.

LEE, D. S., LEE, S-Y., MIN, B-G., SEO, Y. S., LEE, B. H., PARK, S-J., 2014, **“Effect of silane coupling agent on thermal stability and adhesion properties of DGEBF epoxy resin”**, Polymer(Korea), Volume 38, No. 6, p. 787 – 790.

LEE, S., KANG, J., KIM, C., 2006, **“Fabrication and design of multi-layered radar absorbing structures of MWNT-filled glass/epoxy plain weave composites”**, Composites Structures, Volume 76, Issue 4, p. 397 – 405. doi: 10.1016/j.compstruct.2005.11.036.

LEE, S. M., 1991, **“International encyclopedia of composites”**, v.4, VCH Publishers, New York, USA.

LEE, S. M., 1991, **“International encyclopedia of composites”**, v.6, VCH Publishers, New York, USA.

LEHNER, G., 2010, **“Electromagnetic Field Theory for Engineers and Physicists”**, Springer, Berlin Heidelberg, p. 293-294.

LEMMON, J. J., CARROLL, J. E., SANDERS, F. H., TURNER, D., 2008, **“Assessment of the effects of wind turbines on air traffic control radars”**, NTIA Technical Report TR-08-454, U.S. Department of Commerce. p. 19.

LI, G., HU, G-G, ZHOU H-D., FAN, X-J, LI X-G, 2002, **“Attractive microwave absorbing properties of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ manganite powders”**, Materials Chemistry and Physics, Volume 75, Issues 1-3, p. 101 – 104.

LI, G., XIE, T., YANG, S., JIN, Y., JIANG, J., 2012, **“Microwave absorption enhancement of porous carbon fibers compared with carbon nanofibers”**, The Journal of Physical Chemistry C, Volume 116, p. 9196 – 9201. Doi: dx.doi.org/10.1021/jp300050u.

LIAO, S. Y., 1990, **“Microwave devices & circuits”**, 3rd Ed., Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 18-19, p. 61-101.

LIMA, A. C. C., 2005, **“Fundamentos de telecomunicações: teoria eletromagnética e aplicações”**, P&A Editora, Salvador, Brasil.

LU, G., LI, X., JIANG, H., 1996, **“Electrical and shielding properties of ABS resin filled with nickel-coated carbon fibers”**, Composites Science and Technology, Volume 56, p. 193 – 200.

LUKASZEWICZ, D.H.-J.A., WARD, C., POTTER, K. D., 2012, **“The engineering aspects of automated prepreg layup: History, present and future”**, Composites: Part B, Volume 43, p. 997 – 1009.

MARSH, G., 2010, **“Going stealthy with composites”**, Reinforced plastics, Volume 54, Issue 6, p. 30 – 33.

MARSH, G., 2011, **“Automating aerospace composites production with fibre placement”**, Reinforced Plastics, Volume 55, Issue 3, p. 32 – 37.

MATOS, C. F., 2011, **“Materiais nanocompósitos multifuncionais formados entre nanotubos de carbono e látices poliméricos”**, Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 110.

MATTHEWS, J. C. G., PINTO, J., SARNO, C., 2007, **“Stealth solutions to solve the radar-wind farm interaction problem”**, Proceedings of 2007 Loughborough Antennas and Propagation Conference, Loughborough, UK, p. 101 – 104.

MAZUR, R. L., BOTELHO, E. C., COSTA, M. L., REZENDE, M. C., 2008, **“Avaliações térmica e reológica da matriz termoplástica PEKK utilizada em compósitos aeronáuticos”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Volume 18, número 3, p. 237 – 243.

MEDEIROS, L. I., 2009, **“Obtenção de nanocompósitos, nanodiamante sobre fibra de carbono e nanotubo de carbono sobre fibra de carbono”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores, INPE, São José dos Campos, p. 109.

MEDLEY, M. W. JUNIOR., 1993, **“Microwave and RF Circuits: Analysis, Synthesis and Design”**, Artech House, INC, Norwood, UK, p. 571.

MEJDOUBI, A., BROSSEAU, C., 2006, **“Duality and similarity properties of the effective permittivity of two-dimensional heterogeneous medium with inclusion of fractal geometry”**, Physical Review E, Volume 73, 031405, p. 1 – 8.

MIACCI, M. A. S., NOHARA, E. L., MARTIN, I. M., PEIXOTO, G. G., REZENDE, M. C., 2012, **“Indoor Radar Cross Section Measurements of Simple Targets”**, Journal of Aerospace Technology and Management, Vol. 4, No. 1, p. 25–32.

MIACCI, M. A. S., 2002, **“Determinação experimental do espalhamento monoestático de micro-ondas por alvos de geometria simples”**, Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

MIACCI, M. A. S., 2006, **“Otimização de medidas de RCS de mísseis nas bandas C e X via técnica de supressão ativa de sinais interferentes”**, Tese de Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área de Física e Química dos Materiais Aeroespaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

MILTON, G. W., 2002, **“The theory of composites”**, Cambridge University Press, Cambridge, England.

MONTGOMERY, D. C., 2013, **“Design and analysis of experiments”**, 8ª Ed., John Wiley & Sons Inc., Estados Unidos.

MYROSHNYCHENKO, V., BROSSEAU, C., 2005, **“Finite-element method for calculation of the effective permittivity of random inhomogeneous media”**, Physical Review E, Volume 71, 1 – 16. doi: 10.1103/PhysRevE.71.016701.

NANGIA, R. K., PALMER, M. E., 2005, **“A comparative study of UCAV type wing planforms-aero performance and stability considerations”**, 23rd AIAA Applied Aerodynamics Conference Toronto, Ontario, Canada.

Neher Leland K. **Nonreflecting background for testing microwave equipment**. US 2656535 A, 6 ago. 1945, 20 out. 1953.

NERI, F., 2001, **“Introduction to electronic defense systems”**, Artech House, London, UK.

Newman Paul R., Warren Leslie F. Jr, Witucki Edward F. **Process for producing electrically conductive composites and composites produced therein**. US RE35278 E, 21 abril 1992, 18 jun. 1996.

NOHARA, E. L., 2003, **“Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (8-12 GHz) obtidos pela combinação de compósitos avançados dielétricos e revestimentos magnéticos”**, Tese Doutorado em Ciências, Área Física e Química dos Materiais Aeroespaciais, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 02 p.

NOHARA, E. L., REZENDE, M. C., 2000, **“Medidas de transparência ao radar na faixa de 8-12 GHz de compósitos avançados constituídos de fibra de carbono, kevlar e vidro”**, Anais do 14º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Pedro, São Paulo.

ODOM, T. W., HUANG, J. L., KIM, P., LIEBER, C. M., 1998, **“Atomic structure and electronic properties of single-walled carbon nanotubes”**, Nature, 291 (January), p. 62 – 64.

OH, J. H., OH, K. S., KIM, C. G., HONG C. S., 2004, **“Design of radar absorbing structures using glass/epoxy composite containing carbon black in X-band frequency ranges”**, Composites Part B, Volume 35, p. 49–56.

ONIZAWA, M., 2001, **“Crosslinking isoprene-isobutylene rubber with alkylphenol-formaldehyde resin and hydrazide”**, US Patent US6255394B1.

PARDINI, L. C., PERES, R. J. C., 1996, **“Tecnologia de fabricação de pré-impregnados para compósitos estruturais utilizados na indústria aeronáutica”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Abr/Jun, p. 32 – 42.

PARK, K-Y., HAN, J-H., LEE, S-B., YI, J-W., 2011, **“Microwave absorbing hybrid composites containing Ni-Fe coated carbon nanofibers prepared by electroless plating”**, Composites: Part A, Volume 42, p. 573 – 578.

PARK, K-Y., LEE, S-E., KIM, C-G., HAN, J-H., 2006, **“Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures”**, Composites Science and Technology, Volume 66, Issue 3-4, p. 576 – 584.

PAN, G., DU, Z., ZHANG, C., LI, C., YANG, X., LI, H., 2007, **“Synthesis, characterization, and properties of novel novolac epoxy resin containing naphthalene moiety”**, Polymer, Volume 48, Issue 13, p. 3686 – 3693.

PAUL, C. R., 2006, **“Introduction to electromagnetic compatibility”**, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p. 983.

PEIXOTO, G. G., 2006, **“Assinaturas de sinais de radar de alvos simples e de modelos de alvos complexos: um estudo na banda X em câmara anecóica”**, Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Micro-ondas e Optoeletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 61.

PERINI, J., COHEN, L. S., 1993, **“Design of broad-band radar-absorbing materials for large angles of incidence”**, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Volume 35, No. 2, p. 223 – 230.

PINTO, S. S., 2014, **“Obtenção de materiais absorvedores de micro-ondas à base de compósitos condutores de negro de fumo e nanotubos de carbono impregnados com POMA”**, Tese de Doutorado em Ciências no programa de pós-graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área de Materiais e Processos de Fabricação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 138.

PITKETHLY, M. J., 1992, **“Radar absorbing materials and their potential use in aircraft structures”**, Low Profile Absorbers and Scatterers, IEEE Colloquium on IET Conference, p. 7/1 – 7/3.

Pittman Edgar H., Kuhn Hans H. **Electrically conductive textile fabric having conductivity gradient**. US 5102727 A, 17 jun.1991, 7 abril.1992.

PORT, R. J., 2011, **“Proposição de projeto de materiais absorvedores de radiação eletromagnética multicamadas por meio de otimização evolutiva”**, Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Micro-ondas e Optoeletrônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 41-55.

Pratt Burt Carlton. **Nondirectional, metal-backed, electromagnetic radiation-absorptive films**. US 2992425 A, 12 out. 1945, 11 jul. 1961.

QIN, F., BROSSEAU, C., 2012, “**A review and analysis of microwave absorption in polymer composites filled with carbonaceous particles**”, Journal of Applied Physics, Volume 111, Issue 6, 061301, p. 1 –24. doi: 10.1063/1.3688435

QURESHI, Z., SWAIT, T., SCAIFE, R., EL-DESSOUKY, H. M., 2014, “**In situ consolidation of thermoplastic prepreg tape using automated tape placement technology: Potential and possibilities**”, Composites Part B: Engineering, Volume 66, November, p. 255 – 267.

RASHID, L. S., BROWN, A. K., 2011, “**Radar cross-section analysis of wind turbine blades with radar absorbing materials**”, Proceedings of the 8th European Radar Conference, Manchester, UK, p. 97 – 100.

REZENDE, M. C., NOHARA, E. L., MARTIN, I. M., MIACCI, M. A. S., 2003, “**Medidas de refletividade de materiais absorvedores de radiação eletromagnética usando as técnicas RCS e NRL**”, Revista de Física Aplicada e Instrumentação, Volume 16, no. 1, p. 30-36.

REZENDE, M. C., SILVA, F. S., MARTIN, I. M., 2000, “**Materiais absorvedores de radiação eletromagnética**”, Disponível em: <http://www.nelsonlage.pro.br/fisica/Radia%E7%E3o%20Eletromagn%E9tica.pdf>. Acesso em: 22.FEV.2016.

RIBEIRO, B., BOTELHO, E. C., COSTA, M. L., 2014, “**Estudo da cinética de decomposição de compósitos nanoestruturados de poli(sulfeto de fenileno) reforçados com nanotubos de carbono**”, Polímeros, Volume 24, Número 6, p. 720 – 725.

RIBEIRO, J. A. J., 2008, “**Engenharia de Micro-ondas – Fundamentos e Aplicações**”, 1^a Ed., Érica Saraiva, Brasil, 592 p.

ROSATO, D. V., ROSATO, D. V., 2004, “**Reinforced plastics handbook**”, 3rd, Elsevier Advanced Technology, Oxford, UK, p. 1082.

ROMÃO, B. M. V., DINIZ, M. F., PARDINI, L. C., DUTRA, R. C., 2004, “**Aplicação de FT-MIR e FT-NIR ao estudo de reação de cura de sistemas epoxídicos**”, Polímeros: Ciência e Tecnologia, Volume 14, Número 3, p. 142 – 149.

RICHARDSON, J., 2014, “**Stealth wind turbines for 96 MW French wind farm**”, Disponível em: <http://cleantechnica.com/2014/09/17/stealth-wind-turbines-96-mw-french-wind-farm/> Acesso em: 20.FEV.2016.

SAHIMI, M., 2003, “**Heterogeneous materials I: linear transport and optical properties**”, Springer, New York, 769 p.

Salati Octavio M. **Electromagnetic-wave energy absorber**. CA 507981 A, 7 dez. 1954.

Salisbury Winfeld W. **Absorbent body for electromagnetic waves**. US 2599944 A, 11 maio 1943, 10 jun. 1952.

SANTOS, J. C. dos., 2013, “**Compósitos laminados têxteis de vidro e carbono em matriz epóxi reforçada com micro e nano sílica**”, Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação da Universidade Federal de São João del-Rei.

SANTOS, J. H. A. J., ANGRIZANI, C. C., AMADO, F. D. R., 2012, “**Comportamento mecânico e térmico de compósitos de fibra de vidro sob diferentes temperaturas de cura**”, Revista Iberoamericana de Polímeros, Volume 12, nº 4, p. 20 – 28.

SANTANA, F. de A., 2010, “**Estudo do processamento de compósitos termoplásticos a partir de pré-impregnados PEEK/fibra de carbono por moldagem por compressão a quente**”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação, Universidade de Taubaté, UNITAU.

SARENI, B., KRANHENBUHL, L., BEROUAL, A., BROSSEAU, C., 1996, “**Complex effective permittivity of a lossy composite material**”, Journal of Applied Physics, Volume 80, Number 8, p. 4560 – 4565.

SARENI, B., KRAHENBUHL, L., BEROUAL, A., BROSSEAU, C., 1997, “**Effective dielectric constant of random composite materials**”, Journal of Applied Physics, Volume 81, Issue 5, p. 2375 – 2383. doi: 10.1063/1.364276.

SATTAR, A. A., 1996, “**Effect of magnetic order on electrical properties of Mn-Zn ferrite single crystals**”, Journal of Materials Science letters, Volume 15, p. 1090 – 1092.

SAUNDERS, C. B., CARMICHAEL, A. A., KREMERS, W., LOPATA, V. J., SINGH, A., 1991, “**Radiation-curable prepreg composites**”, Polymer Composites, Volume 12, Issue 2, p. 91 – 95.

SAVILLE, P., 2005, “**Review of radar absorbing materials**”, Technical Memorandum, Defence R&D Canada, p. 62.

SAVILLE, P., HUBER, T., MAKEIFF, D., 2005, “**Fabrication of organic radar absorbing materials A report on the TIF project**”, Technical Report, DRDC Atlantic TR 2005-124.

SAVILLE, P., 2004, “**Review of optimization techniques for layered radar absorbing materials including the genetic algorithm**”, Technical Memorandum, Defence R&D Canada, p. 31.

SAVIN, A., STEIGMANN, R., BRUMA, A., STURM, R., 2015, **“An electromagnetic sensor with a metamaterial lens for nondestructive evaluation of composite materials”**, Sensors (Switzerland), Volume 15, nº 7, p. 15903 – 15920.

Schmitt Richard J. **Nickel/carbon fiber braided shield**. US 4822950 A, 25 nov. 1987, 18 abril 1989.

SEO, I. S., CHIN, W. S., LEE, D. G., 2004. **“Characterization of electromagnetic properties of polymeric composite materials with free space method”**, Composite Structures, Volume 66 (1-4), p. 533 – 542.

SERKOV, A. T., RADISHEVSKII, M. B., 2008, **“Status and prospects for production of carbon fibres based on polyacrylonitrile”**, Fibre Chemistry, Volume 40, No. 1, p. 24 – 31.

SHEN, G., XU, Z., LI, Y., 2006, **“Absorbing properties and structural design of microwave absorbers based on W-type La-doped ferrite and carbon fiber composites”**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 301, p. 325 – 330.

SHEN, G., XU, M., XU, Z., 2007, **“Double-layer microwave absorber based on ferrite and short carbon fiber composites”**, Materials Chemistry and Physics, Volume 105, p. 268 – 272.

SHUI, X., CHUNG, D. D. L., 2000, **“Submicron diameter filaments and their polymer-matrix composites”**, J. Mater Sci., Volume 35, p. 1773 – 1785.

SHUMAKER, J. L., SLIPHER, G. A., MROZEK, R. A., 2015, **“Deformable elastomeric conductors and differential electronic signal transmission”**, US Patent US20150129276 A1.

SILVA, F. S., 2000, **“Obtenção de estruturas híbridas absorvedoras de radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas aplicadas no setor aeronáutico”**, Dissertação de Mestrado em Ciência, no Programa de Física, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

SILVA, L. V., 2011, **“Compósitos avançados epóxi/fibra de vidro com elevado teor de nanotubos de carbono”**, Dissertação de Mestrado em Engenharia, no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVEIRA, D. C., 2015, **“Processing and characterization of structural and electromagnetic microwave absorber multifunctional composite based on GF/epoxy/CF/Ni”**, Anais da 2ª Jornada de Iniciação Científica da Pós-Graduação, UNESP, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

SINGH, P., BABBAR, V. K., RAZDAN, A., SRIVASTAVA, S. L., PURI, R. K., 1999, **“Complex permeability and permittivity, and microwave absorption studies of**

Ca(CoTi)_xFe_{12-2x}O₁₉ hexaferrite composites in X-band microwave frequencies", Materials Science and Engineering:B, Volume 67, Issue 3, p. 132 – 138.

STONIER, R. A., 1991, **"Stealth aircraft and technology from world-war-II to the gulf"**, Sampe Journal, Volume 27, Issue 4, p. 9 – 17.

THOMAS, R., DURIX, S., SINTUREL, C., OMONOV, T., GOOSSENS, S., GROENINCKX, G., MOLDENAERS, P., THOMAS, S., 2007, **"Cure kinetics, morphology and miscibility of modified DGEBA-based epoxy resin – effects of a liquid rubber inclusion"**, Polymer, Volume 48, p. 1695 – 1710.

THOMASSIM, J. M., JÉRÔME, C., PARDOEN, T., BAILY, C., HUYNEN, I., DETREMBLEUR, C., 2013, **"Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials"**, Materials Science and Engineering, v. 74 (7), p. 211-232.

THOSTENSON, E. T., CHOU, T. -W., 1999, **"Microwave processing: fundamentals and applications"**, Composites: Part A, Volume 30, p. 1055 – 1071.

Tiley John W. **Radio wave absorption device**. US 2464006 A, 28 abr. 1944, 8 mar. 1949.

TORQUATO, S., 2001, **"Random heterogeneous materials: microstructure and macroscopic properties"**, Springer, New York, 701 p.

TZENG, S-S, CHANG, F-Y, 2000, **"EMI shielding effectiveness of metal-coated carbon fiber-reinforced ABS composites"**, Materials Science and Engineering, Volume A302, p. 258 – 267.

TZENG, S-S, CHANG, F-Y, 2001, **"Electrical resistivity of electroless nickel coated carbon fibers"**, Thin Solid Films, Volume 388, p. 143 – 149.

UFIMTSEV, P. Y., 1996, **"Comments on diffraction principles and limitations of RCS reduction techniques"**, Proceedings of the IEEE, Volume 84, Issue 12, p. 1830 – 1851. Doi: 10.1109/5.546440.

VALIM, F. C., SILVEIRA, D. C., COSTA, M. L., PEREIRA, M. S., BOTELHO, E. C., 2015, **"Estudo das propriedades morfológicas, térmicas e mecânicas do compósito particulado de alumínio e polietileno de baixa densidade reciclados"**, Revista Matéria, Volume 20, nº 4, p. 852 – 865.

VINOY, K. J., JHA, R. M., 1996, **"Radar absorbing materials – from theory to design and characterization"**, Kluwer Academic Publishers, Boston.

WENTWORTH, S. M., 2009, **"Eletromagnetismo aplicado, abordagem antecipada das linhas de transmissão"**, Bookman, Artmed Editora S.A, São Paulo, Brasil, 668 p.

XU, H., BIE, S., XU, Y., YUAN, W., CHEN, Q., JIANG, J., 2016, **“Broad bandwidth of thin composite radar absorbing structures embedded with frequency selective surfaces”**, Composites: Part A, Volume 80 (2016), p. 111 – 117.

XU, Z., LIN, W., KONG, L., 2007, **“Controllable absorbing structure of metamaterial at microwave”**, Progress In Electromagnetic Research, Volume 69, p. 117 – 125. Doi: 10.2528/PIER06120801.

YAN, S. J., ZHEN, L., XU, C. Y., JIANG, J. T., SHAO, W. Z., 2010, **“Microwave absorption properties of FeNi₃ submicrometre spheres and SiO₂@FeNi₃ core-shell structures”**, Journal of Physics D: Applied Physics, Volume 43, Number 24, p. 7.

YOUSSEF, N. N., 1989, **“Radar cross section of complex targets”**, Proceedings of IEEE, Volume 77, Issue 5, p. 722 – 734. Doi: 10.1109/5.32062.

ZENG, J., XU, J., 2010, **“Microwave absorption properties of CuO/Co/carbon fiber composites synthesized by thermal oxidation”**, Journal of Alloys and Compounds, Volume 493, Issue 1 – 2, p. L39 – L41. doi:10.1016/j.jallcom.2009.12.192.

ZHANG, S., WANG, X., WU, D., 2015, **“Design and fabrication of long-carbon-fiber-reinforced polyamide-6/nickel powder composites for electromagnetic interference shielding and high mechanical performance”**, Polymer Composites, doi 10.1002/pc.

ZHU, H., CHEN, P., WU, R., ZHANG, H., 2007, **“Microwave absorption properties of carbon fibre containing nonwovens”**, Indian Journal of Fibre & Textile Research, Volume 32, p. 391 – 398.