

# Desenvolvimento de Absorvedores de Radiações Eletromagnéticas a Partir de Resíduos de Indústrias Alimentícias e Moveleiras: uma Alternativa Sustentável

**Carlos Fernando Jung**  
carlosfernandojung@gmail.com  
FACCAT

**Fabiano Phillippsen da Rosa**  
fabiano.2on@gmail.com  
FACCAT

**Frederico Sporket**  
fsporket@yahoo.com  
FACCAT

**Carlos Eduardo Apollo Unterleider**  
eduardo@pirisa.com  
FACCAT

**Flavio Lucas da Rosa**  
flaviotaq@gmail.com  
FACCAT

**Resumo:** Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratória e experimental que teve por finalidade desenvolver um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas. O estudo contempla o desenvolvimento de um novo produto a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras. Os materiais selecionados para a construção do absorvedor piramidal foram a casca de arroz e os resíduos de MDF (Medium-Density Fiberboard) que representam um importante problema quando do descarte e destinação por indústrias moveleiras. O método foi baseado na análise de estudos e experimentos anteriores realizados para a obtenção de materiais compósitos a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores piramidais. O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas a que se destina, aos atuais existentes no mercado que são fabricados a partir de materiais sintéticos e, contribui para a sustentabilidade.

**Palavras Chave:** Absorvedores - Resíduos Industriais - Sustentabilidade - Radiações - Ecoeficiência

## 1. INTRODUÇÃO

Existem propostas e métodos para a sustentabilidade e solução de problemas ambientais desde o tratamento da poluição que visam reduzir os efeitos ambientais negativos gerados pelas atividades industriais à atuação nos processos de produção que geram a poluição (utilização de tecnologias limpas) e o desenvolvimento de novos produtos a partir da utilização de resíduos industriais (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Enfim, a conscientização ambiental levou a discussão e proposição de novos métodos, abordagens e desenvolvimentos para minimizar a degradação ambiental.

A progressiva deterioração, redução e a perspectiva de uma futura escassez dos recursos naturais pelo uso de inadequadas tecnologias de produção despertou a consciência e responsabilidade ambiental nas mais diferentes esferas e tem encontrado satisfatório apoio para a implementação de ações sustentáveis (SILVA; HEEMANN, 2000). Este fato ao longo dos anos vem estimulando cientistas, engenheiros e técnicos a buscar novas alternativas tecnológicas para a sustentabilidade econômica e ambiental, através da proposição de projetos em programas governamentais de P&D (SOUZA, 2006).

O modelo da Ecoeficiência tem por finalidade reduzir progressivamente o impacto ambiental e a exploração de reservas naturais para um nível suportável pela capacidade estimada do planeta, através da produção de bens e serviços de forma eficiente e a preços competitivos (WBCDS, 2002).

Na prática isto significa: (i) reduzir a quantidade de matéria em bens e serviços, (ii) reduzir a quantidade de energia em bens e serviços, (iii) reduzir a dispersão de material tóxico, (iv) aumentar a reciclagem de material, (v) maximizar o uso de fontes renováveis, (vi) aumentar a durabilidade dos produtos, e (vii) aumentar a quantidade de bens e serviços (KEFFER; SHIMP; LEHNI, 1999).

Um produto ecoeficiente pode ser também todo aquele que seja produzido de forma artesanal ou industrial, para uso pessoal, alimentar, residencial, comercial, agrícola e industrial que contribui para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável através do reaproveitamento ou reciclagem de resíduos que tenham por origem processos de industrialização (ARAÚJO, 2011).

Ao longo dos anos no Polo de Inovação Tecnológica do Paranhana e Encosta da Serra, com sede no município de Taquara, RS, têm sido realizadas diversas pesquisas com a finalidade de promover o desenvolvimento regional sustentável. Em especial, foi desenvolvido um projeto apoiados pelo Programa de Polos da Secretaria da Ciência, Inovação e Desenvolvimento Tecnológico do RS que teve por finalidade o aproveitamento de resíduos de agroindústrias. No projeto *Processo Biotecnológico para Obtenção do Adoçante Xilitol a partir de Resíduos de Agroindústrias* foi otimizado um processo biotecnológico com a finalidade de ser obtida uma maior produtividade do adoçante Xilitol, a partir de resíduos provenientes de agroindústrias.

Os satisfatórios resultados deste projeto quanto ao uso de resíduos, a existência de resíduos de MDF - *Medium Density Fiberboard* que atualmente consiste em um importante problema quando do descarte e destinação pelas indústrias moveleiras do Vale do Paranhana, aliados a expertise dos pesquisadores nas áreas da engenharia de produção, eletrônica e computação pela execução de várias outras pesquisas destinadas ao desenvolvimento de tecnologias RFID - *Radio Frequency Identification* aplicadas a sistemas de produção estimulou a equipe a propor o desenvolvimento de um novo produto a partir da utilização de resíduos provenientes de indústrias alimentícias e moveleiras.

Assim, foi proposta a pesquisa e o desenvolvimento de um novo produto a partir do aproveitamento destes tipos de resíduos como matéria-prima para a elaboração de um material compósito. Este novo produto, consiste em um “Absorvedor Piramidal de Radiação Eletromagnética” que é amplamente utilizado para revestir o interior de Câmaras Anecoicas para atenuar a reflexão de sinais eletromagnéticos.

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratória e experimental que teve por finalidade desenvolver um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas. O estudo contempla o desenvolvimento de um novo produto a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras. O método baseia-se na análise de estudos e experimentos anteriores realizados para a obtenção de materiais compósitos a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores piramidais. O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas a que se destina, aos atuais existentes no mercado que são fabricados a partir de materiais sintéticos e contribui para a sustentabilidade.

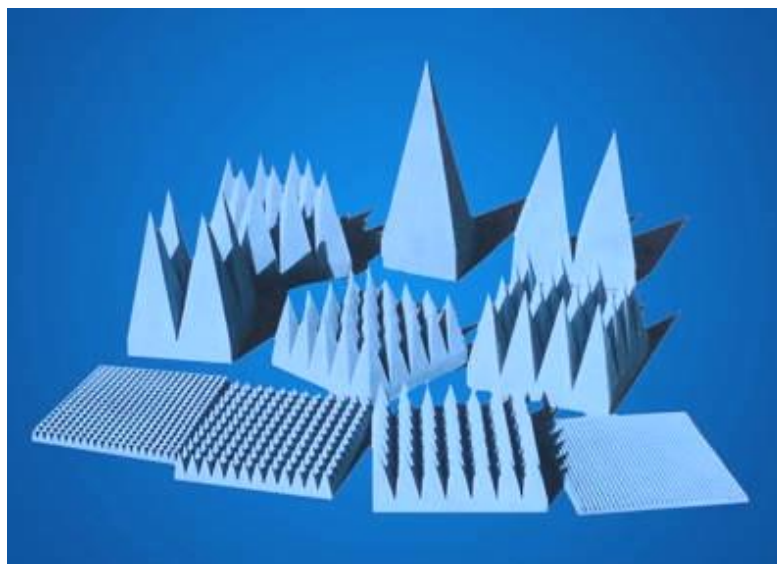
O trabalho possui a seguinte estrutura: na seção 2 é apresentado o referencial teórico, na seção 3 o desenvolvimento, na seção 4 os resultados e a seção 5 traz as conclusões do estudo.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. ABSORVEDORES**

Segundo Migliano, Freitas e Melo (2002) absorvedores de radiações eletromagnéticas são utilizados para o revestimento de câmaras anecoicas onde são realizados ensaios eletromagnéticos e, também, para atenuar e/ou blindar ambientes sujeitos a fontes intensas de radiofrequências danosas aos seres humanos, ver Figura 1.

As câmaras anecoicas destinam-se a análise de novas antenas e interferências eletromagnéticas, testes de compatibilidade eletromagnética em veículos terrestres e aeronaves, fornos de micro-ondas etc.



**Figura 1:** Placas e absorvedores piramidais de radiações eletromagnéticas  
Fonte: DONGSHIN MICROWAVE (2014)

Folgueras e Rezende (2006) afirmam que os componentes que existem em um material absorvedor para atenuar a energia de uma onda eletromagnética são complexos. Estes materiais absorvedores de radiação eletromagnética promovem a troca de energia da radiação eletromagnética pela energia térmica, devido às características intrínsecas de determinados

componentes. Absorvedores quando atingidos por uma onda eletromagnética têm a estrutura molecular excitada e a energia incidente é convertida em calor proporcionando uma baixa reflexão da onda incidente (SCHLEDER, 1999).

A elaboração e produção de um material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE) tem por princípio fundamental a composição e síntese dos materiais construtivos, através do arranjo de materiais dielétricos e magnéticos que proporcionarão o perfil de impedância para determinada onda eletromagnética incidente (MIGLIANO; REIS DE FREITAS; MELO, 2002).

A evolução da tecnologia para obtenção desses materiais absorvedores está diretamente relacionada com estudos que envolvem experimentos com a elaboração de novos materiais, em especial, compósitos e o desenvolvimento de métodos e técnicas para a obtenção de revestimentos de melhor qualidade e faixa de absorção cada vez mais ampla (CHUNG; CHUA, 2004).

Existem muitos tipos de absorvedores de radiação no mercado. Segundo Malek et al. (2011) este tipo de produto ainda é fabricado com materiais que exigem o uso de matérias-primas não renováveis e componentes sintéticos. Os absorventes são tipicamente fabricados pela adição de carbono em um meio de espuma de plástico poliuretano e poliestireno.

## 2.2. ESTUDOS CORRELATOS

Estudos realizados por Nornikman et al. (2010) *Parametric Studies of the Pyramidal Microwave Absorber Using Rice Husk*; Nornikman et al. (2011) *Setup and Results of Pyramidal Microwave Absorbers Using Rice Husks*; Malek et al. (2011) *Rubber Tire Dust-Rice Husk Pyramidal Microwave Absorber*; Farhany et al. (2012) *Potential of Dried Banana Leaves for Pyramidal Microwave Absorber Design*; e Liyana et al (2012) *Investigation of Sugar Cane Bagasse as Alternative Material for Pyramidal Microwave Absorber Design* demonstraram ser viável a utilização de resíduos de materiais sintéticos e de alimentos para a construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas.

Nornikman et al. (2011) afirmam que os resíduos agrícolas não são considerados muitas vezes úteis e são comumente descartados ou queimados após a colheita das culturas. Cascas resultantes do arroz são exemplos de resíduos agrícolas. A casca de arroz tem sido investigada como um material para ser utilizado na construção de absorvedores piramidais para R.F. (Radiofrequências). Estes autores utilizaram uma mistura de casca de arroz e resíduos de poliéster. Os experimentos mostraram que a perda por reflexão (*Reflection Loss*) obtida pelo uso do compósito proposto foi significativo, sendo melhor que -30 dB. Nornikman et al. (2011) realizaram os ensaios na faixa de micro-ondas de 7 a 13 GHz. Microondas são ondas eletromagnéticas que possuem comprimentos de onda entre 300 mm a 1 mm, correspondendo a frequências entre 1 GHz a 300 GHz (CHAMBERS, 1999).

Os experimentos realizados por Nornikman et al. (2010; 2011) mostraram a necessidade de serem realizadas novas pesquisas para investigar o desempenho de cascas de arroz para a construção de absorvedores devido a influência da temperatura, umidade e outros parâmetros ambientais. Estes autores referem que isto é importante para garantir a viabilidade e robustez deste compósito para atender várias normas internacionais antes comercialização. Os resultados desta pesquisa evidenciaram que a casca de arroz tem grande potencial para ser usada como material para a construção de absorventes piramidais para radiofrequências.

Malek et al. (2011) utilizaram resíduos de borracha de pneus e casca de pó de arroz como materiais alternativos para desenvolver absorvedores piramidais. Estes autores também investigaram e determinaram refletividade e o desempenho da perda por reflexão (*Reflection Loss*) a partir da elaboração deste compósito. Os resultados indicaram que o pó de borracha de

pneu tem potencial para ser usado como um material alternativo na concepção de absorvedores piramidais. A perda por retorno obtida para o pó de borracha de pneus misturados com cascas de arroz foi considerada importante e, também, apresentou resultado melhor que -30 dB.

Liyana et al. (2012) construíram um absorvedor piramidal a partir do uso de bagaço de cana-de-açúcar. Os autores consideraram este resíduo agrícola como uma alternativa benéfica aos atualmente fabricados com produtos químicos. Após a pesquisa foi possível constatar que este produto pode ser aplicado como absorvedor piramidal de microondas para câmaras anecoicas. Neste trabalho, foram realizados experimentos para testar as características do dielétrico do bagaço da cana-de-açúcar (constante dielétrica e da perda de tangente). Este absorvedor piramidal pode ser utilizado em uma faixa de frequências entre 0,1 GHz a 20 GHz. Os resultados mostram que este material obteve uma perda por reflexão melhor que - 30 dB em determinadas frequências.

Farhany et al. (2012) realizaram uma experiência para construção de absorvedores piramidais através da elaboração de um material compósito obtido pela mistura de folhas de bananeira com poliéster e resina metil-etil-cetona (MEKP) como agente endurecedor. Farhany et al. (2012) analisaram as pesquisas anteriores realizadas com cascas de arroz que mostraram uma perda por reflexão melhor que - 30 dB em uma faixa de frequências de 1,89 a 20 GHz. O absorvedor piramidal desenvolvido com o uso das folhas de bananeira mostrou ser melhor do que - 97,59 dB em uma faixa de 0,504 a 14,933 GHz. Estes autores referem que o absorvedor piramidal usando casca de arroz teve o melhor desempenho de perda por reflexão na faixa entre 5 a 10 GHz com - 46,17 dB. O pior desempenho foi alcançado entre 0,01 e 1 GHz com uma perda por reflexão de - 16,031 dB para casca de arroz. Na mesma faixa, utilizando as folhas de bananeira o melhor desempenho foi de - 63,28 dB. A frequência onde obtiveram um resultado excelente chegando a uma perda de reflexão de 123,47 dB foi em 4 GHz.

### **3. DESENVOLVIMENTO**

O método para a pesquisa e o desenvolvimento proposto foi baseado nos procedimentos metodológicos de Nornikman et al. (2011), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012) e Farhany et al. (2012).

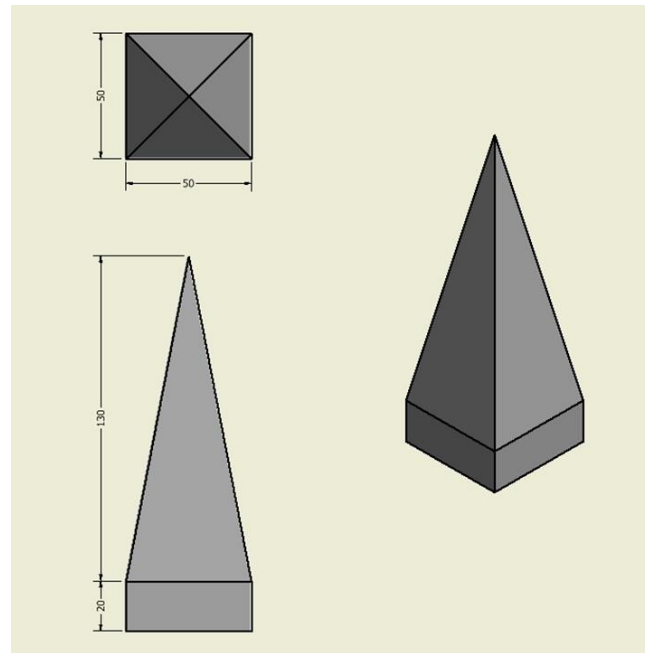
Os materiais selecionados para a construção do absorvedor piramidal foram a casca de arroz e os resíduos de MDF (*Medium-Density Fiberboard*) que é fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos. Os resíduos de MDF representam um importante problema quando do descarte e destinação pelas indústrias moveleiras do Vale do Paranhana onde se localiza o Polo de Inovação.

A faixa de frequências selecionada para as radiações eletromagnéticas serem atenuadas pelo absorvedor piramidal em desenvolvimento foi de 800 MHz a 6 GHz. Esta faixa foi determinada em função da ampla aplicação da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) em sistemas de produção que utilizam a faixa de UHF (*Ultra High Frequency*). No cenário internacional, a tecnologia RFID é objeto de várias pesquisas e investimentos por parte da indústria e comunidade científica, com taxas de crescimento contínuas no uso destes dispositivos nos últimos anos.

A primeira fase da pesquisa e desenvolvimento do absorvedor piramidal foi essencialmente experimental devido as características físico-químicas e eletromagnéticas dos materiais resultantes deste compósito, obtido a partir de cascas de arroz e resíduos de MDF, ainda não serem conhecidas.

Foi necessário determinar o modelo conceitual do absorvedor para construção e uma matriz para a produção experimental do protótipo. As dimensões do modelo foram baseadas nos estudos de Nornikman et al. (2010; 2011), Nornikman et al. (2011), Malek et al. (2011),

Liyana et al. (2012), e Farhany et al. (2012). Os modelos icônicos bi e tridimensional obtido para construção da matriz pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2:** Modelos icônicos bi e tridimensional do absorvedor piramidal para construção da matriz

A partir do modelo icônico tridimensional do absorvedor piramidal foi possível construir a matriz para obtenção dos protótipos, ver Figura 3. A matriz foi desenvolvida com quatro cavidades para ser possível a modelagem de quatro absorvedores piramidais em cada operação realizada. Esta configuração aumentou a capacidade de produção da matriz em relação àquelas desenvolvidas por Nornikman et al. (2011) e Liyana et al. (2012) que possuem apenas uma cavidade.



**Figura 3:** Vista superior do protótipo da matriz desenvolvida para obtenção dos absorvedores piramidais

A matriz utilizada para a produção dos absorvedores piramidais por Nornikman et al. (2011) além de possuir uma cavidade necessitava que em cada operação fossem colocados e retirados parafusos para a abertura e fechamento da matriz.

Assim, foi implantado um dispositivo (alavanca com trava) na parte lateral esquerda da matriz para realizar o travamento do sistema quando fechada a matriz. Na parte lateral direita foi colocada uma dobradiça para facilitar a movimentação e sustentação da parte frontal quando da abertura da matriz. A eficiência e precisão do processo de abertura e fechamento da matriz se tornou importante devido a cavidade que moldou o absorvedor piramidal ter necessitado uma uniformidade entre as duas partes.

A cavidade possui em sua parte inferior um canal para escoamento do líquido resultante da compressão do material compósito em seu interior. A água em estado líquido foi utilizada na mistura dos materiais, casca de arroz e resíduos de MDF, além do amido que foi empregado como elemento para agregação (pasta visco-elástica).

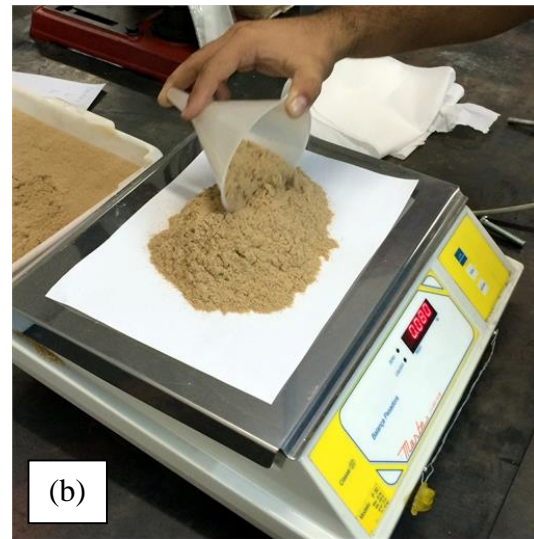
Na sequência, a segunda fase da pesquisa e desenvolvimento consistiu na elaboração do material compósito através da mistura de porções de cascas de arroz e resíduos de MDF e produção dos protótipos. Para tal produção inicialmente foi realizado um processo de moagem da casca de arroz e utilizado o pó resultante do processo de fabricação industrial do MDF, ver Figura 4.

\*As granulações utilizadas não serão especificadas neste artigo devido ao produto obtido ser passível de pedido de depósito de patente de modelo de utilidade (M.U.) junto ao INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial.



**Figura 4:** Processo de moagem da casca de arroz e as amostras obtidas

Posteriormente a obtenção dos materiais foi realizada a mistura para obtenção do compósito. Para agregar os materiais foi utilizado o amido diluído em água, ver Figura 5a. Na sequência, foram pesados os materiais para serem adicionados ao amido diluído em água, ver Figura 5b.



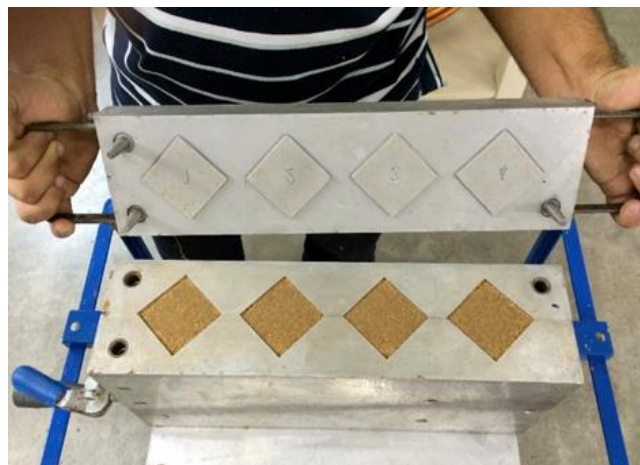
**Figura 5:** Preparação do amido diluído em água (a) e pesagem dos materiais (b)

Para serem obtidos oito absorvedores piramidais é necessário: 250 g de cascas de arroz moídas, 250 g de pó de MDF, 100 g de amido e 700 ml de água. Após a mistura dos materiais foi realizada a colocação do composto nas cavidades da matriz, ver Figura 6.



**Figura 6:** Colocação do material composto nas cavidades da matriz

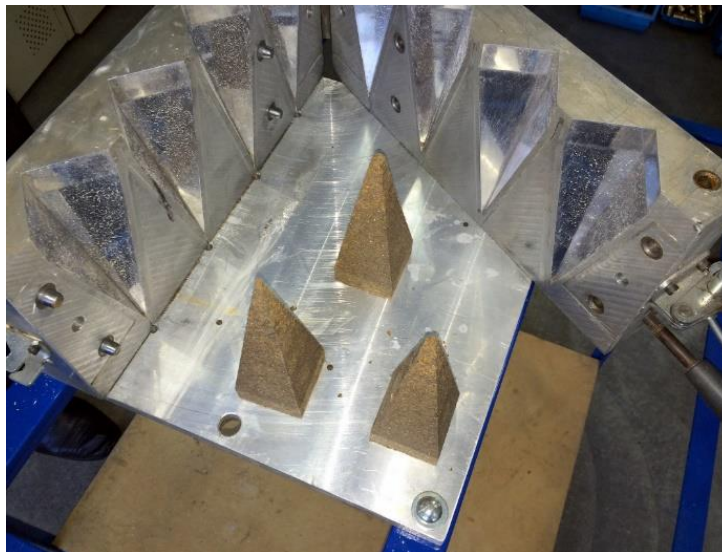
Na Figura 7 pode ser observada a matriz com o material no interior das quatro cavidades e pronta para a colocação da tampa superior para posterior prensagem.



**Figura 7:** Aspecto da matriz com as cavidades preenchidas com o material composto



Após a prensagem do material pela tampa superior, a matriz é aberta e os protótipos dos absorvedores piramidais podem ser retirados, ver Figura 8.



**Figura 8:** Aspecto da matriz aberta e com os protótipos já retirados das cavidades

A segunda fase da pesquisa e desenvolvimento viabilizou a obtenção dos protótipos dos absorvedores piramidais de radiação eletromagnética, ver Figura 9, para na sequência serem submetidos aos testes experimentais.



**Figura 9:** Protótipo do absorvedor piramidal obtido a partir de um compósito de cascas de arroz moídas e pó de resíduos de MDF (*Medium-Density Fiberboard*)

Nornikman et al. (2011) e Malek et al. (2011) utilizaram quatro conjuntos com dezesseis absorvedores em cada conjunto para os testes experimentais. Cada conjunto com dezesseis absorvedores foi colocado sob uma chapa de 2 x 20 x 20 cm.

Foi necessária a produção de sessenta e quatro absorvedores piramidais para serem realizados os testes, ver Figura 10.



**Figura 10:** Absorvedores piramidais prontos para os testes experimentais

#### 4. RESULTADOS

A terceira fase da pesquisa e desenvolvimento consistiu na realização de testes experimentais para determinação das características mecânicas e eletromagnéticas dos absorvedores piramidais.

Foram realizados ensaios de compressão transversal e longitudinal nos absorvedores piramidais para serem determinadas as resistências mecânicas. As amostras foram testadas em uma máquina para ensaios de compressão e tração EMIC com Célula TRD24, ver Figura 11.



**Figura 11:** Amostra do absorvedor piramidal colocada na máquina para ensaio de compressão

Os resultados dos ensaios foram satisfatórios e demonstraram que possuem resistência adequada para o manuseio operacional e fixação em superfícies de câmaras anecoicas. Os relatórios com os respectivos gráficos são apresentados nas Figuras 12 e 13.



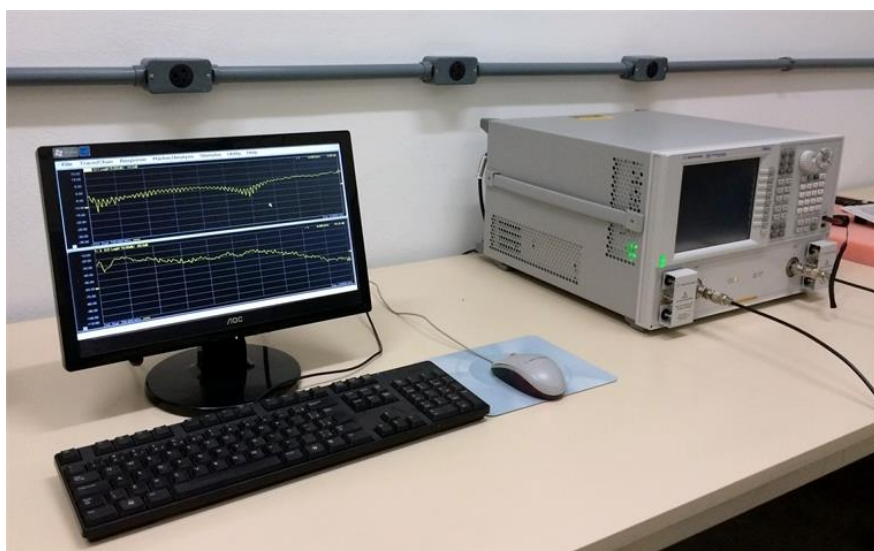
Na sequência, foram realizados uma série de ensaios para análise e determinação da perda por refletividade, eficiência de absorção, dos absorvedores piramidais em relação a uma superfície refletora de metal. Esta superfície consistia em quatro chapas de metal (cobre) com dimensões de 20 x 20 cm. Foi determinada assim a área de incidência e reflexão (40 x 40 cm).

Esta área foi demarcada em uma bancada de testes. No lado esquerdo foi colocada uma antena do tipo Horn (transmissora) e no lado direito outra antena tipo Horn (receptora). As antenas possuíam um ângulo de radiação de 45° em relação ao centro do plano onde estava a área de testes, ver Figura 14.



**Figura 14:** Aspecto da área de testes com o conjunto de absorvedores piramidais no centro

Todos os testes experimentais foram realizados com a utilização de um Vetorial Network Analyzer, marca: Agilent, modelo: N5230C (300 KHz a 13,5 GHz), ver Figura 15.



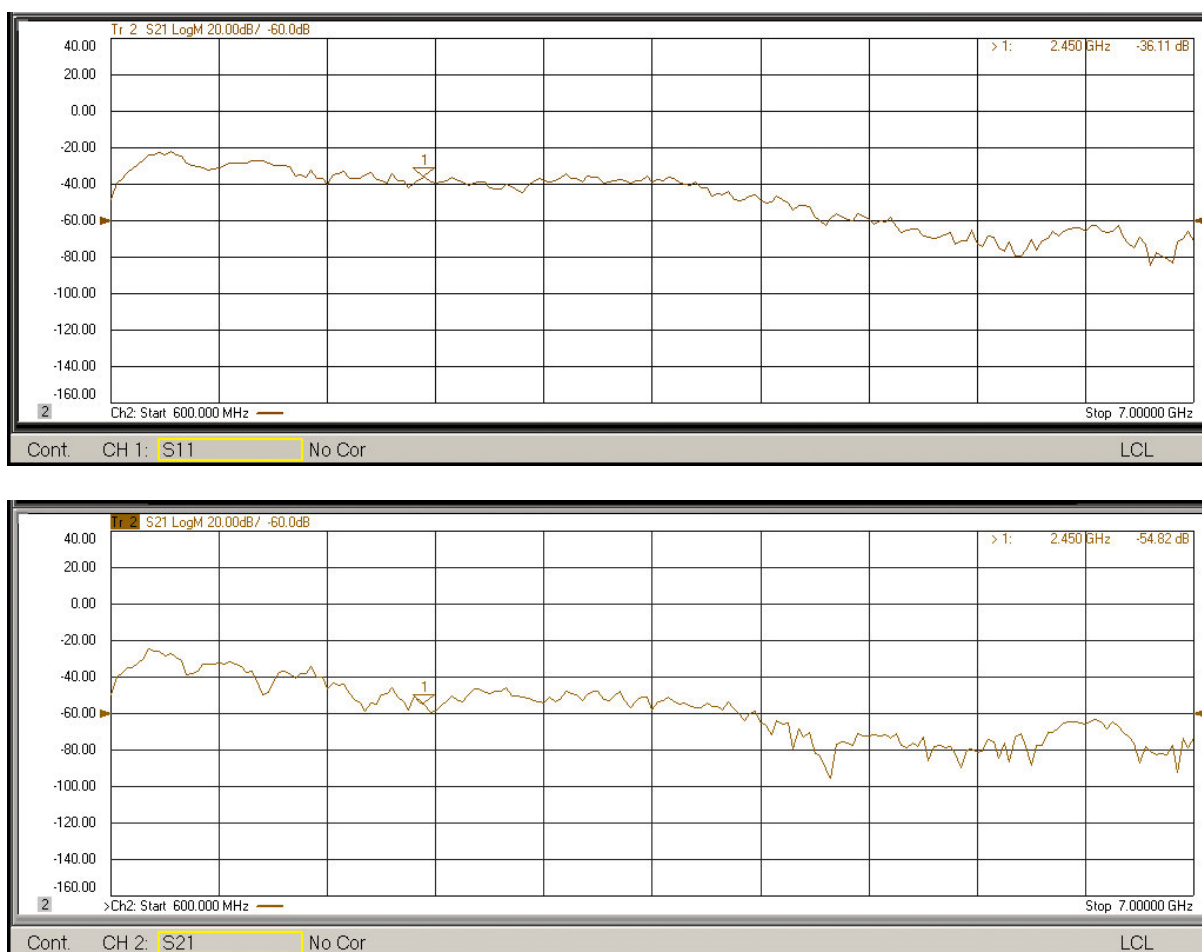
**Figura 15:** Conjunto de medição para testes experimentais com o Network Analyzer da Agilent, N5230C

Os testes experimentais seguiram o método utilizado por Nornikman et al. (2011). Desta forma, não foram realizados em câmara anecoica. Assim, todas as possíveis variáveis que pudessem interferir foram mantidas constantes tanto nos testes aplicados à chapa refletora com superfície de cobre como naqueles aplicados ao conjunto de absorvedores.

A primeira série de testes teve por finalidade determinar a perda por reflexão obtida considerando a radiação aplicada à chapa de metal (cobre) posicionada no centro e a respectiva recepção. A segunda série teve a mesma finalidade, mas agora com o conjunto de absorvedores posicionados no centro sem a chapa de metal.

As duas séries de testes de emissão e recepção foram realizadas nas seguintes frequências: 600 MHz; 700 MHz; 800 MHz; 868 MHz; 915 MHz; 1 GHz; 2 GHz; 2,45 GHz; 3 GHz; 4 GHz; 5 GHz; 5,8 GHz e 6 GHz. As frequências de 868 e 915 MHz, bem como, as de 2,45 e 5,8 GHz foram inseridas nos testes devido a serem utilizadas nominalmente em sistemas que utilizam a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*).

Após cada teste experimental realizado, em cada frequência, na chapa refletora de metal como no conjunto de absorvedores piramidais foi possível por análise comparativa verificar o desempenho em relação a perda por reflexão, veja um exemplo na Figura 16.



**Figura 16:** Resultados da perda por reflexão na frequência de 2,45 GHz, no gráfico superior o cursor indica o valor de -36,11 dB obtido com a Placa de Metal e no gráfico inferior o cursor indica o valor de -54,82 dB obtido com o Conjunto de 64 absorvedores piramidais.

No exemplo mostrado na Figura 16 pode ser verificado o resultado da perda por reflexão obtida que foi de -18,71 dB. O conjunto de absorvedores mostrou ser eficiente considerando-se que o limite aceito para absorvedores de radiação é de -10 dB. Na frequência de operação central de 2,45 GHz (utilizada em sistemas RFID) foi comprovada a viabilidade deste protótipo desenvolvido.

Na Figura 17 são apresentados os resultados obtidos com as duas séries de testes experimentais aplicados na placa refletora de metal (cobre) e no conjunto de absorvedores piramidais desenvolvidos.

Frequências (GHz)	Chapa de Metal (dB)	Absorvedores (dB)	Diferença (dB)
<b>0,6</b>	-49,18	-49,66	-0,48
<b>0,7</b>	-33,23	-34,74	-1,51
<b>0,8</b>	-25,82	-28,52	-2,70
<b>0,868</b>	-23,24	-25,92	-2,68
<b>0,915</b>	-23,51	-28,09	-4,58
<b>1</b>	-24,34	-29,92	-5,58
<b>2</b>	-35,84	-47,37	-11,53
<b>2,45</b>	-36,11	-54,82	-18,71
<b>3</b>	-39,26	-49,80	-10,54
<b>4</b>	-40,16	-55,20	-15,04
<b>5</b>	-58,74	-72,70	-13,96
<b>5,8</b>	-69,68	-83,58	-13,90
<b>6</b>	-73,84	-84,02	-10,18

Figura 17: Resultados obtidos com as séries de testes experimentais

Os dados mostram que os absorvedores piramidais desenvolvidos atenuam as ondas eletromagnéticas incidentes em toda faixa de frequências propostas na pesquisa (600 MHz a 6 GHz). No entanto, os absorvedores são mais eficientes na faixa de 2 GHz a 6 GHz. Nesta faixa de frequências estão acima de -10 dB. O compósito elaborado a partir de cascas de arroz moídas e os resíduos de pó de MDF possuem potencial para serem utilizados em aplicações comerciais específicas.

O melhor resultado obtido pelos absorvedores piramidais foi na frequência de 2,45 GHz tendo uma diferença em relação a chapa refletora de metal de -18,71 dB. Este resultado está acima do limite esperado de -10 dB encontrado em produtos de mercado.

Considerando que os testes experimentais foram realizados pela comparação dos resultados entre uma chapa refletora de metal (sendo o pior caso onde as reflexões são mais expressivas) e os absorvedores desenvolvidos com o compósito, pode-se inferir que a colocação destes absorvedores sob outras superfícies menos reflexivas, como a madeira por exemplo, pode proporcionar uma maior perda por reflexão, proporcionando resultados ainda melhores.

## 5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados de uma pesquisa exploratória e experimental que teve por finalidade desenvolver um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas.

O estudo contemplou o desenvolvimento de um novo produto a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras.

O método utilizado para os testes experimentais e análise teve por princípios metodológicos os estudos e experimentos realizados por Nornikman et al. (2010; 2011), Nornikman et al. (2011), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012), e Farhany et al. (2012) para a obtenção de materiais compósitos a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores piramidais.

Foram realizadas duas séries de testes de emissão (radiação) e recepção foram realizadas nas seguintes frequências: 600 MHz; 700 MHz; 800 MHz; 868 MHz; 915 MHz; 1 GHz; 2 GHz; 2,45 GHz; 3 GHz; 4 GHz; 5 GHz; 5,8 GHz e 6 GHz. As frequências de 868 e 915 MHz, bem como, as de 2,45 e 5,8 GHz foram inseridas nos testes devido a serem utilizadas nominalmente em sistemas que utilizam a tecnologia RFID (Radio Frequency Identification).

O estudo mostrou que absorvedores piramidais obtiveram um melhor desempenho na frequência de 2,45 GHz resultando em uma diferença de -18,71 dB em relação a chapa refletora de metal utilizada nos ensaios. Este resultado está acima do limite esperado de -10 dB encontrado em produtos de mercado.

Foram realizados ensaios de compressão transversal e longitudinal nos absorvedores piramidais para serem determinadas as resistências mecânicas. Os resultados dos ensaios foram satisfatórios e demonstraram que possuem resistência adequada para o manuseio operacional e fixação em superfícies de câmaras anecoicas.

O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas a que se destina, aos atuais existentes no mercado que são fabricados a partir de materiais sintéticos e contribui para a sustentabilidade.

Os resultados obtidos são satisfatórios e sugerem a continuidade dos estudos em relação a utilização de resíduos industriais como materiais para substituir àqueles obtidos por processos químicos que possam gerar emissões e poluição ambiental.

## 6. REFERÊNCIAS

**ARAÚJO, M. A.** Produtos ecológicos para uma sociedade sustentável. Disponível em:

<<http://idhea.com.br/pdf/sociedade.pdf>> Acesso em: 23 Out 2011

**CHAMBERS, B.** Characteristics of radar absorbers with tapered thickness. IEEE Conf. Antennas and Propagation, Apr. 1999.

**CHUNG, B.K. & CHUA, H.T.** Design and construction of a multipurpose wideband anechoic chamber," IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol. 45, No. 6, 41-47, 2004.

**DONGSHIN MICROWAVE.** Piramidal absorber. Disponível em: <<http://www.isorb.cn/> h> Acesso em: 08 jun 2014.

**FARHANY, Z. S., MALEK, F., NORNIKMAN, H., MOHD, N. A., AFFENDI, L., MOHAMED, N. & SAUDIN, A. A. Ali.** Potential of Dried Banana Leaves for Pyramidal Microwave Absorber Design. IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA), September 23-26, Bandung, Indonesia, 2012.

**FOLGUERAS, L. C. & REZENDE, M. C.** Material Absorvedor de Radiação Eletromagnética Multicamadas Processado a partir de Não Tecidos Poliméricos e Polímero Condutor. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

**KEFFER, C., SHIMP, R. & LEHNI, M.** Eco-Efficiency Indicators & Reporting. Report on the Status of the Project's Work in Progress and Guideline for Pilot Application, WBCSD, Geneva, 1999.

**LIYANA, Z., MALEK, F., NORNIKMAN, H., MOHD AFFENDI, N. A., MOHAMED, L., SAUDIN, N. & ALI, A. A.** Investigation of Sugar Cane Bagasse as Alternative Material for Pyramidal Microwave Absorber Design. IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA), September 23-26, Bandung, Indonesia, 2012.

**MALEK, F., CHENG, E. M., NADIAH, O., NORNIKMAN, H., AHMED, M. Z. A., ABD AZIZ, M. Z. A., AZREMI, A. R., OSMAN, P. J., SOH, P. J., AZREMI, A. A. H., HASNAIN, A. & TAIB, M. N.** 2011. Rubber Tire Dust-Rice Husk Pyramidal Microwave Absorber. Progress In Electromagnetics Research, Vol. 117, 449-477, 2011.

**NORNIKMAN, H., MALEK, F., SOH, P. J., AZREMI, A. A. H.; WEE, F. H. & HASNAIN, A.** Parametric Studies of the Pyramidal Microwave Absorber Using Rice Husk. Progress In Electromagnetics Research, PIER 104, 145-166, 2010.

**NORNIKMAN, H., MALEK, F., AHMED, M., WEE, F. H., SOH, P. J. & AZREMI, A. A. H.** Setup and Results of Pyramidal Microwave Absorbers Using Rice Husks. Progress In Electromagnetics Research, Vol. 111, 141-161, 2011.

**MANZINI, E. & VEZZOLI, C. O.** Desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: EDUSP, 2008.

**MIGLIANO, A. C. C.; REIS DE FREITAS, C. A. & MELO, F. C. L.** Características de Absorção da Radiação Eletromagnética em Revestimentos Planos à Base de Ferritas de Mg-Mn. Revista Científica Periódica – Telecomunicações. Volume 05, Número 02, Dezembro, 2002.

**SILVA, J. S. G. & HEEMANN, G.** Eco-Concepção: design, ética e sustentabilidade ambiental. Proc. Of Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí. UNIVALI, 2000.

**SOUZA, P. R. S.** Apresentação: pólos de inovação tecnológica do RS. Porto Alegre: SCT/RS, 2006.

**SCHLEHER, D.C.** Electronic Warfare in the Information Age. London: Artech House, 1999.

**WBCDS** - Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Visão Estratégica Empresarial. Rio de Janeiro: CEBDS, 2002.