

## CARACTERIZAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE PASTA DE CIMENTO E DE RESÍDUO DE BORRACHA

Weila Packer Pfeifer (UNICAMP) E-mail: p.weila@yahoo.com.br  
Rosa Cristina Cecche Lintz (UNICAMP) E-mail: rosacclintz@ft.unicamp.br  
Luisa Andreia Gachet Barbosa (UNICAMP) E-mail: gachet@g.unicamp.br  
Leonardo Lorenzo Bravo Roger (UNICAMP) E-mail: leobravo@ft.unicamp.br

**Resumo:** O desenvolvimento tecnológico e a necessidade de comunicação entre as pessoas têm aumentado o número de dispositivos que se comunicam através de redes sem fio (wireless). A construção de alvenaria, ou seja, paredes feitas de tijolos cerâmicos, blocos de concreto ou folhas planas são algumas das barreiras artificiais podem influenciar a diminuição do sinal de tais redes, torna a comunicação difícil. A indústria da construção tem usado diferentes tipos de resíduos como alternativa para a produção de concreto e argamassa, objetivando minimizar o consumo de material natural e evitar o descarte indevido de resíduos no ambiental. Combinando as necessidades tecnológicas e ambientais, este trabalho tem como objetivo estudar as características da pasta de cimento e resíduos de borracha como a permissividade de ondas de radiofrequência (variação de 2,45 GHz). O objectivo é o de oferecer ao mercado a incorporação deste resíduo para o fabrico de lajes de cimento, de modo que estes podem atenuar as ondas de radiofrequência para a mínimos sem fios.

**Palavras-chave:** Radiofrequência; Cimento; Borracha.

## CHARACTERIZATION FOLDER ELECTROMAGNETIC CEMENT AND RUBBER WASTE

**Abstract:** Technological development and the need for communication between people have increased the number of devices that communicate through wireless networks (wireless). The masonry construction, that is, walls made of ceramic bricks, concrete blocks or flat sheets are some of the artificial barriers may influence the decrease of the signal such networks, makes communication difficult. The building industry has used different kinds of waste for the production of concrete and mortar as technically feasible to minimize the consumption of natural material and to prevent improper disposal of wastes into the environment alternative. Combining the technological and environmental needs, this work aims to study the characteristics of the cement paste and rubber residue as the permissiveness of radiofrequency waves (range 2.45 GHz). The aim is to offer the market the incorporation of this residue to the manufacture of cement slabs, so that these can attenuate the minimum radiofrequency waves to the wireless.

**Keywords:** Radio frequency; Cement; Rubber.

### 1. INTRODUÇÃO

Até a década de 1980 e meados de 1990 a melhor forma de comunicação entre duas pessoas que se encontravam distante era via telefone fixo. Para isso era necessário estarem em um ambiente onde houvesse linha telefônica, como residência, trabalho, ou utilizar-se de telefones públicos. Porém a necessidade de comunicação instantânea, somada a constante movimentação do ser humano levou ao avanço tecnológico e em especial ao segmento de telecomunicação, chegando rapidamente aos telefones móveis que evoluíram de forma abrupta seus recursos de conexão e aplicativos [5].

Atualmente são diversos os meios e formas de comunicação, dentre elas estão os celulares, notebooks, tabletes, entre outros e todos com aplicativos que possibilitam as comunicações instantâneas através de rede sem fio (wireless). Trata-se de uma rede que transmite o sinal através de radiofrequência, podendo esses sinais encontrar diversas barreiras capazes de interferi-los, atenuá-los e até mesmo barrá-los [11].

Um problema identificado por usuários dessa rede é a atenuação ou até mesmo a perda total do sinal ao passar de um cômodo para o outro dentro da residência. Quando no percurso

de comunicação entre um aparelho e seu roteador wireless existem alguns cômodos intermediários, o sinal recebido pelo aparelho pode ter baixa intensidade ou até mesmo perda de comunicação, devido às paredes funcionarem como atenuadores ou barreiras dos sinais de radiofrequência. Estudos já comprovam que paredes construídas de tijolos furados promovem uma menor absorção de sinal se comparadas com paredes de tijolos maciços [10].

Em empreendimentos mais recentes tem-se construído um novo tipo de parede, diferente das paredes feitas convencionalmente de tijolo, tem-se utilizado o sistema DRY WALL (paredes cartonadas de gesso) e mais recentemente o sistema Steel Frame (paredes de placas cimentícias), sistema que reduz tempo de execução, mão-de-obra e geração de resíduos de construção civil [4]. A pasta de cimento é produto base para a fabricação de placas cimentícias e diversos outros produtos da construção civil. Uma avaliação do efeito desse novo tipo de parede, especificamente as de placa cimentícia, sobre o sinal das redes wireless é oferecida neste artigo, através da caracterização eletromagnética experimental da pasta de cimento nas frequências das ondas das redes wireless.

Por outro lado, a geração de lixo é um agravante do mundo atual, impactando o ambiente, causando danos à saúde de homens e animais, entre outros fatores. Os pneus inservíveis são um exemplo desse lixo que alocados de maneira inadequada servem de criadouro para mosquitos como os da dengue e malária [6; 7; 8]. Preocupado com o descarte desse pneu e o impacto ambiental por ele causado, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução nº 416/2009 determina que a cada pneu novo comercializado, empresas fabricantes ou importadoras deverão destinar de maneira ambientalmente adequada um pneu inservível. Os elementos constituintes do pneu deverão ser reaproveitados, reciclados ou processados por outras técnicas admitidas pelos órgãos ambientais competentes.

Seguindo a exigência do CONAMA 416, o nicho das indústrias de reciclagem de pneus tem aumentado de forma significativa. Essas empresas são responsáveis pela separação dos materiais que compõem o pneu, e dentre esses materiais está a borracha que há algum tempo tem sido usada para compor as mantas asfálticas, o que ainda caracteriza um baixo consumo desse resíduo mediante seu alto índice de produção [3]. Devido ao negativo impacto desse resíduo no meio ambiente, a construção civil o tem incorporado em algumas atividades. Este artigo oferece resultados experimentais da caracterização desse resíduo na presença das ondas de radiofrequência utilizadas nas comunicações wireless. A caracterização em radiofrequência dos dois materiais (placa de cimento e resíduo de borracha) na banda de redes wireless (frequência central de 2.45 GHz) é apresentada. Os valores da constante dielétrica e da tangente de perda desses materiais foram obtidos via ensaios experimentais para os que foi necessário construir corpos de prova em pequenas escalas para tornar viável as medições em radiofrequência. As metodologias para a construção desses corpos de prova em dimensões tão pequenas são outra contribuição deste artigo.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **A. Materiais:**

Foi utilizado para a fabricação dos corpos de pasta de cimento, o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI), cujas características físicas, químicas e mecânicas atenderam aos requisitos da norma NBR 5733:1991. Sua massa específica é de 3,08 (g/cm<sup>3</sup>), ensaiado de acordo com a NBR NM 23:2001. O CPV-ARI é formado por 95% a 100% de clínquer e adicionado com gesso uma porcentagem de até 5% de fíller calcário. Este cimento é mais fino em sua composição do que o CP – III, pois possui dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer adicionado e é mais fino devido a sua moagem. Esta produção resulta em propriedades de altas resistências já nos primeiros dias após a sua aplicação, e é também por

este motivo que é muito utilizado em pesquisas tecnológicas que se precisa de resultados rápidos e de alta resistência para se aplicar no mercado. Demais dados e exigências físicas e mecânicas do cimento CPV-ARI estão reunidos na Tabela 1, enquanto que as exigências químicas estão reunidas na Tabela 2. Já para o corpo de prova de borracha, foi utilizado resíduo de borracha proveniente de pneus inservíveis de granulometria de 1,2 g/cm<sup>3</sup> (Figura 1).

Tabela 1 – Exigências físicas do cimento CPV-ARI

Finura		Tempos de pega		Expansibilidade		Resistência à compressão			
Resíduo na peneira 75 mm (%)	Área específica (m <sup>2</sup> /kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia (MPa)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
≤ 6,0	≥ 300	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-

Fonte: Adaptado de [2].

Tabela 2 – Exigências químicas do cimento CPV-ARI

Resíduo insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	S (%)
≤ 1,0	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 3,5 ≤ 4,5 <sup>(*)</sup>	≤ 3,0	-

(\*) O teor de SO<sub>3</sub> igual a 3,5% aplica-se quando C<sub>3</sub>A ≤ 8,0, e 4,5% quando C<sub>3</sub>A ≥ 8,0%.

Fonte: Adaptado de [2].

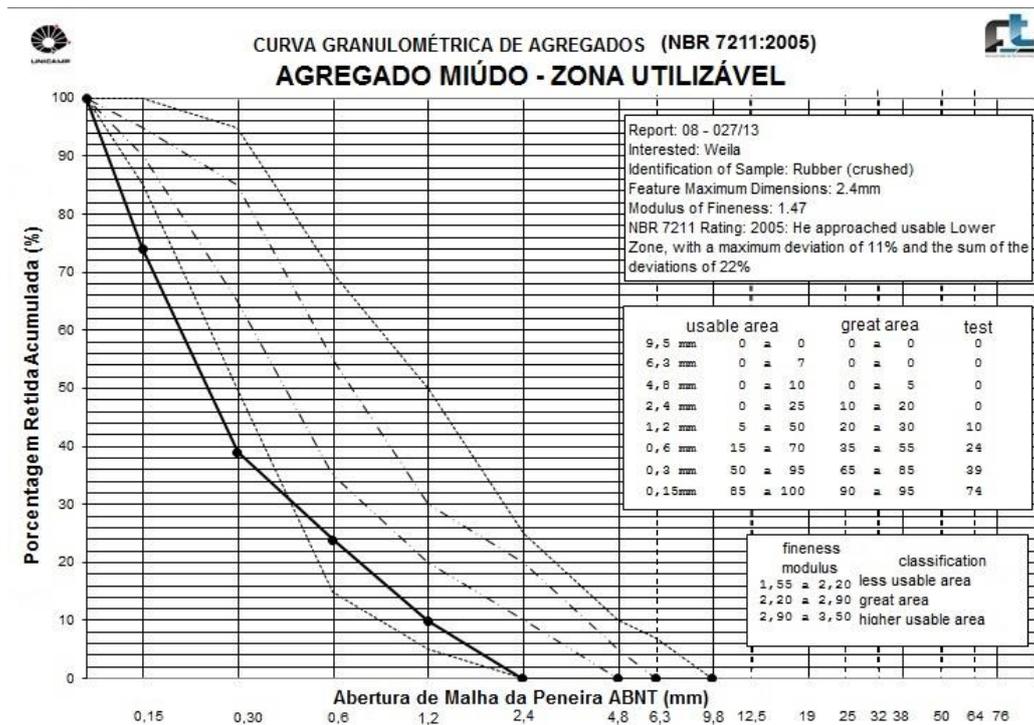


Figura 1 - Granulometria do Resíduo de Borracha.

Para a realização dos ensaios foi utilizado uma cavidade cilíndrica metálica para os ensaios de radiofrequência com conector SMA fema no centro da tampa superior da cavidade (Figura 2a, 2b e 2c), e um analisador de redes Agilent Technologies E5071C (Figura 3).



Figura 2a - Fixação do Conector na Tampa da Cavidade



Figura 2b - Conector SMA Fêmea com prolongação da antena.



Figura 2c - Cavidade com o interior isento de ranhuras e riscos.

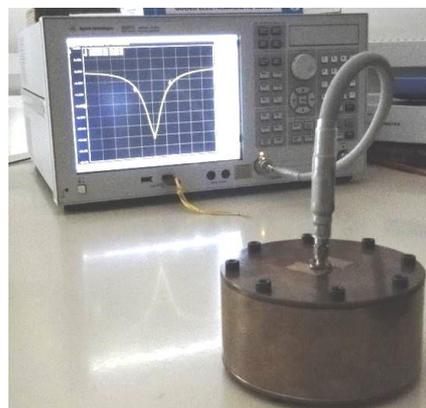


Figura 3 - Cavidade conectada ao analisador de redes Agilent Technologies E5071C.

## B. Procedimento para a fabricação da cavidade e dos corpos de prova para ensaios

Para a realização do ensaio de radiofrequência é necessário inicialmente dimensionar a cavidade que receberá o material a ser ensaiado. Esta cavidade deve ser feita de material metálico, como por exemplo, o bronze ou o alumínio (material que barra as ondas de radiofrequência) o qual impede a saída das ondas de radiofrequência para o meio externo. O diâmetro interno da cavidade deve ser compatível com a frequência de trabalho desejada. Para projetar a cavidade utilizou-se a equação (1) que leva em consideração o diâmetro e a profundidade interna da cavidade para a faixa de frequência desejada [9].

$$f_{nm1} = \frac{c}{2\pi} \left[ \left( \frac{x_{nm}}{a} \right)^2 + \left( \frac{l\pi}{d} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Onde:

f é a frequência de ressonância da cavidade

c é a velocidade da luz

x<sub>nm</sub> é a raiz da função de Bessel (usar raiz de primeira ordem)

a é o raio da cavidade cilíndrica

d é a profundidade da cavidade cilíndrica

l é a altura total da cavidade

O cálculo da dimensão de seu diâmetro interno foi calculado a frequência de 2,45 GHz, o que resultou em um diâmetro de 96 mm, sendo seu volume interno (V) de 520888,32 mm<sup>3</sup>. De posse das dimensões adequadas da cavidade para trabalhar com a frequência das redes wireless,

utilizou-se o software HFSS para determinar o comprimento de sua antena (excitador da cavidade) e a correta dimensão dos corpos de prova a serem ensaiados. Com base nas simulações definiu-se como sendo 8,5 mm o melhor comprimento para a antena.

Para a determinação das dimensões dos corpos de prova a serem ensaiados as simulações ocorreram com corpos de prova de dimensões que variaram de 30 mm de diâmetro e 30 mm de altura até 6 mm de diâmetro x 10 mm de altura. Através dessas simulações, definiu-se que a dimensão adequada era a de 6 mm de diâmetro x 10 mm de altura. Para a fabricação do corpo de prova de pasta de cimento foram utilizados os critérios e orientações normativas [1] com uma relação água/cimento de 0,4. Devido à necessidade de uma escala reduzida para a fabricação desses corpos de prova, todos os materiais e moldes foram adaptados, nesse caso o molde utilizado foram tubos plásticos que se adequaram a dimensões necessárias. Dentre os corpos produzidos foi utilizado o de melhor acabamento superficial para os ensaios de radiofrequência (Fig. 4a). Para a determinação Para a fabricação do corpo de prova de resíduo de borracha proveniente de pneu inservível foram utilizados moldes de tubos plásticos assim como para os corpos de prova de pasta de cimento. Neste caso o resíduo de borracha foi compactado dentro do molde de tubo plástico (Fig. 4b). Um terceiro corpo de prova foi usinado na mesma dimensão dos demais sendo de material Teflon (Fig. 4c). A tangente de perda e a constante dielétrica do teflon já são conhecidas [4], conforme linha cinco da Tabela 3 e serviram como referência para a validação dos ensaios realizados.

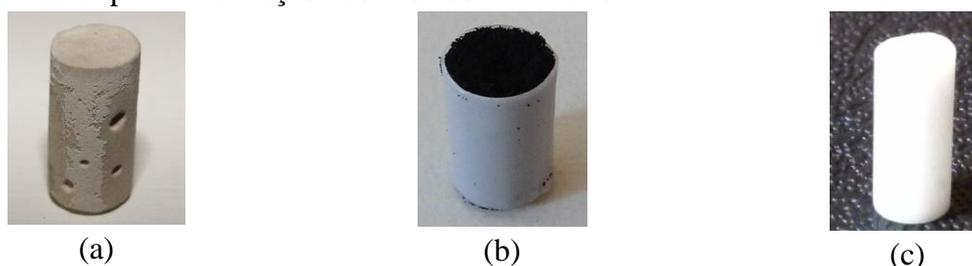


Figura 4 - Corpos de prova a serem ensaiados em de radiofrequência, (a) Pasta de Cimento; (b) Resíduo de Borracha; (c) Teflon.

Tabela 3 - Parâmetros característicos de materiais dielétricos a uma frequência de 2,45 GHz.

Material	Constante Dielétrica	Tangente de Perda
Alumina	9	0,0006
Concreto (seco)	4,5	0,0111
Quartzo	4	0,0001
Nylon	2,4	0,0083
Teflon	2,1	0,0003
Madeira	1 a 2,5	0,004 - 0,4167

Fonte: Adaptado de [4].

### C. Metodologia de projeto experimental

Para realizar os ensaios notou-se a necessidade de secar (com ar quente) a cavidade bem como os corpos de prova para evitar que a umidade interferisse nas medições das ondas de

radiofrequência. O equipamento analisador de redes Agilent Technologies E5071C foi calibrado para trabalhar no range de frequência das redes wireless. Inicialmente o ensaio foi realizado com a cavidade em vazio, posteriormente com um corpo de prova de teflon, sendo o corpo de prova sempre centralizado no interior da cavidade. Os resultados obtidos das medições com o corpo de prova de teflon foram compatíveis com os valores esperados, de acordo com a Tabela 1. Na prática isso significa que os ensaios e a metodologia de medição foram validados. Seguidamente foram ensaiados os corpos de prova de pasta e cimento e de resíduo de borracha. Para tomar conhecimento da constante dielétrica e tangente de perda de cada corpo de prova ensaiado, foi necessário medir a frequência de ressonância central e a perda de retorno em dB nessa frequência, bem como as frequências e valores da perda de retorno em dB, obtidos nos pontos de 3dB de diferença em relação ao pico da frequência central, como exigem as formulas (2), (3) e (4) conforme discriminado em [9].

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (2)$$

Onde:

$f_0$  é a frequência central

$f_1$  é a frequência no ponto da diferença de 3 dB localizado a esquerda da frequência central

$f_2$  é a frequência no ponto da diferença de 3 dB localizado a direita da frequência central

$$\epsilon' = 1 + \frac{V}{2v} \left( \frac{f_1 - f_2}{f_2} \right) \quad \epsilon'' = \frac{V}{4v} \left( \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1 \times Q_2} \right) \quad (3)$$

Onde:

$\epsilon'$  é a parte real da permissividade complexa

$\epsilon''$  é a parte imaginária da permissividade complexa

$V$  é o volume interno da cavidade ressonante

$v$  é o volume do corpo de prova

$f_1$  é a frequência central da cavidade em vazio

$f_2$  é a frequência central da cavidade perturbada com o corpo de prova

$Q_1$  é o fator de qualidade da cavidade em vazio

$Q_2$  é o fator de qualidade da cavidade perturbada

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (4)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### A. Medições

Com o analisador de redes E5071C configurado, a frequência central de ressonância da cavidade em vazio resultou na ordem de 2,3769694 GHz e a perda de retorno na ordem de -

21,373 dB e as frequências e retornos nos pontos da diferença de 3dB em relação a frequência central foram [2,376561 GHz e 2,372876 GHz], como mostra a Fig. 7. Na sequência a cavidade foi perturbada com o corpo de prova de teflon. A nova frequência central de ressonância foi de 2,3745900 GHz com uma perda de retorno de -19,532 dB e as frequências e valores da perda de retorno nos pontos da diferença de 3dB em relação a frequência central foram [2,3742689 GHz e 2,3749010 GHz], ver Fig. 8. Aplicando os valores obtidos nos ensaios conforme as Fig 7, 8 nas fórmulas (2), (3) e (4) chega-se aos ilustrados na primeira linha da Tabela 4. As colunas cinco e 7 mostram os valores da constante dielétrica e da tangente de perda. Comparando esses valores medidos com os valores já publicados para esse material, (Tabela 1, linha cinco) se observa uma correspondência satisfatória que permitiu validar o método e possibilitou seguir os ensaios com o corpo de prova de pasta de cimento e posteriormente com o corpo de prova de resíduo de borracha compactado, cujos resultados são também oferecidos na Tabela 4.



Figura 7 - Gráfico da Frequência da Ressonância cavidade em vazio ensaiada com o analisador de redes E5071.

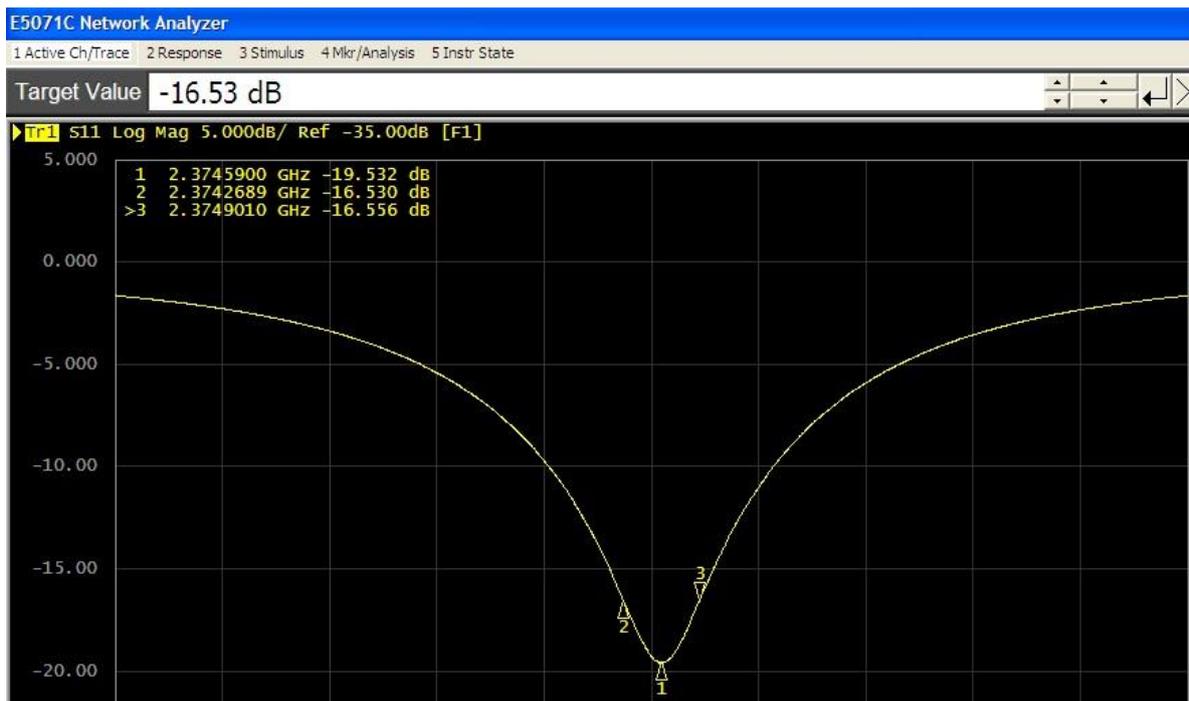


Figura 8 - Gráfico do ensaio de frequência da ressonância da cavidade com o corpo de prova de Teflon utilizando o analisador de redes E5071.

Tabela 4 - Valores de Constante Dielétrica e Tangente de Perda para os corpos de prova por meio de cálculo com os valores medidos.

Descrição do corpo de Prova	Teflon	Pasta de Cimento	Resíduo de Borracha
(v) Volume do corpo de Prova em mm <sup>3</sup>	282,6	263,195159	243,522518
V/v	2092,653451	1979,095368	2138,973941
Cálculo do Fator de Qualidade (Q)	3756,668249	891,1821711	2027,772315
$\epsilon'$ (Constante Dielétrica)	2,048446179	6,299965269	3,38407572
$\epsilon''$	j0,000271463	j0,423739458	j0,12164215
Tangente de Perda	0,000132521	0,067260602	0,035945459

#### 4. CONCLUSÕES

Conseguiu-se adequar o método da cavidade ressonante para a determinação da permissividade de ambos os materiais, pastas de cimento e resíduos de borracha.

Foi concebido um novo procedimento para a fabricação de corpos de prova de pastas de cimento em pequenas escalas, que não está contemplado nas normas comumente empregadas no setor da construção civil.

Foram determinadas experimentalmente as dimensões adequadas dos corpos de prova para serem compatíveis com a utilização do método da cavidade para a caracterização eletromagnética destes materiais.

Nos ensaios de radiofrequência observa-se que os valores da tangente de perda e da constante dielétrica do corpo de prova de borracha são praticamente a metade dos valores apresentados pelo corpo de prova de pasta de cimento.

Dessa forma conclui-se que o resíduo de borracha proveniente do pneu inservível é um possível material a ser incorporado na fabricação de divisórias, tendo em vista que sua tangente

de perda é 50% menor que a da pasta de cimento. Ou seja, o resíduo de borracha barra 50% menos o sinal de wi-fi quando comparado a pasta de cimento.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos técnicos de laboratório da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP pelo apoio nos ensaios.

### **REFERÊNCIAS**

- [1] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA**. *ABNT NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1997.
- [2] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP)**. *Guia Básico de Utilização do Cimento Portland*. Dezembro, 2002 - São Paulo, SP.
- [3] **EDEL, G.** *Pneus inservíveis e asfalto: união que beneficia estradas e o meio ambiente*. *Anais do SIMPÓSIO SOBRE OBRAS RODOVIÁRIAS – RODO, 2., 2002, São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002, p.105.*
- [4] **ETERPLAC**, *Catálogo Técnico referente a Placas Cimentícia*, São Paulo, 2010. Disponível em: [http://www.eterplac.com.br/userfiles/ETERPLAC\\_final%20060110.pdf](http://www.eterplac.com.br/userfiles/ETERPLAC_final%20060110.pdf). Acesso em: 26/06/2013.
- [5] **GALLO, M. A.; HANCOCK, W. M.**: *Comunicação entre Computadores e Tecnologias de Rede*, São Paulo, 2003.
- [6] **LAGARINHOS, C.** *Descarte inadequado de pneus velhos causa problema ambiental*. *Envolverde Jornalismo & Sustentabilidade*. Redação Agencia USP (Universidade de São Paulo), SP, 2011. Disponível em <http://envolverde.com.br/ambiente/residuos/descarte-inadequado-de-pneus-velhos-causa-problema-ambienta>. Acesso em 01/11/2012.
- [7] **LAGARINHOS, C. A. F.** *Reciclagem de Pneus: Análise do Impacto da Legislação Ambiental Através da Logística Reversa*, Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 2011, 291p.
- [8] **LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S.** *Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil*, *Polímeros*, v. 23, nº 1, p. 49-58, 2013.
- [9] **OLIVEIRA, J. A.; PINHO, J. T.** *Medição da Permissividade Elétrica de Produtos Naturais 2002*. *Anais do X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica – Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas*, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. Disponível em [http://www.ufpa.br/gedae/SBMO2002\\_02.PDF](http://www.ufpa.br/gedae/SBMO2002_02.PDF). Acesso em 01/10/2012.
- [10] **PELLEGRINI, A. L. M.** *Análise de Propagação de Sinais de Radiofrequência em Redes Wireless Utilizando Cabos Irradiantes com Configurações diferentes em ambiente indoor*,

2010. *Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia da Computação, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010. Disponível em <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/1009/1/20387365.pdf>. Acesso em 29/06/2013.*

[11] **SILVA, A. P.; SOARES, B. T. A.** *Wi-Fi e WiMAX I: Características do WiFi. Trabalho de Graduação Interdisciplinar da Faculdade de Computação e Informática, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2009. Disponível em <http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialww1.pdf>. Acesso em: 05/06/2013.*