

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS DE ALTA FREQUÊNCIA: DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE VEDAÇÃO

Ormy Leocádio Hütner Júnior¹; Aloísio Leoni Schmid²

(1) Mestre, Arquiteto e Urbanista, PPGECC-UFPR, Curitiba – PR, hutner.junior@gmail.com

(2) Professor, Doutor, Engenheiro Mecânico, PPGECC-UFPR, Curitiba – PR,
aloisio.schmid@gmail.com, (41) 3361 3084 UFPR

RESUMO

Este trabalho visa determinar experimentalmente os coeficientes de atenuação de ondas eletromagnéticas de alta frequência em sete amostras de sistemas construtivos de vedação utilizados no Brasil. Atualmente, as edificações próximas às Estações Rádio Base (ERB) estão sujeitas à exposição contínua dessas micro-ondas. Trata-se de uma pesquisa de caráter explanatória que, por meio de ensaios experimentais em campo aberto, analisa a atenuação de sete amostras de 40 x 40 cm. São analisadas nesta pesquisa amostras de quatro alvenarias e três sistemas pré-fabricados. Estas amostras são submetidas à exposição de ondas eletromagnéticas que correspondem às faixas utilizadas pela telefonia celular no Brasil. O método consiste em utilizar antenas acopladas a um gerador de sinal que emitem sinais em direção às amostras em seis frequências distintas. Situadas no lado oposto à amostra, antenas acopladas a um analisador de espectro recebem o sinal e assim, identifica-se sua atenuação. Foram realizadas cinco séries de medições analisando a atenuação eletromagnética de todas as amostras, em todas as frequências analisadas. Para analisar estes dados, foi utilizado o método estatístico *two-way* ANOVA. Esta pesquisa mostrou que o *Light Wood Framing* e a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais apresentam os maiores coeficientes, seguidos muito próximo da alvenaria de blocos de concreto. Na sequência, a alvenaria de blocos de solo-cimento obteve um desempenho um pouco acima da média geral. Abaixo da média se encontram o *Light Steel Framing*, a alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e com o menor coeficiente de atenuação, o *Drywall*. Com base nesses cálculos, pode-se afirmar que os sistemas construtivos de vedação não possuem um parâmetro de atenuação constante para frequências na faixa de micro-ondas, podendo se comportar de formas distintas para frequências distintas.

Palavras-chave: sistemas construtivos, arquitetura, ondas eletromagnéticas.

ABSTRACT

This work aims to experimentally determine the coefficients of attenuation of electromagnetic waves of high frequency in seven building systems samples used in Brazil. Thus, this explanatory research, through experimental tests in open space, aims to determine the attenuation coefficients for microwave in seven samples of seven building systems, which are four types of masonry and three types of prefabricated systems. These samples were exposed to electromagnetic waves that correspond to the mobile telephony frequency bands of Brazil. Connected antennas to a signal generator send signals towards the sample in six different frequencies. On the opposite side, antennas connected to a spectrum analyzer receive the signal and its loss. Five series of measurements were made by analyzing the electromagnetic attenuation of all samples in all the frequencies sent. To analyze these data, the two-way ANOVA statistical method was used. This research has demonstrated that the Light Wood Framing and non-structural ceramic bricks masonry have the highest coefficients, followed very close by the concrete brick masonry. In sequence, the Masonry of soil-cement bricks achieved a performance slightly above the overall average. Below average are the Light Steel Framing, the Masonry of structural ceramic bricks and the lowest attenuation coefficient, the *Drywall* building system. Based on these results, it can be stated that the building systems do not have an attenuation constant parameter for microwave frequencies, which may lead to distinguished performances for distinguished frequencies.

Keywords: building systems, architecture, electromagnetic waves.

1. INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo ondas eletromagnéticas e eventuais efeitos na saúde das pessoas estão cada vez mais comuns nos meios científicos. Estudos epidemiológicos têm correlacionado enfermidades em seres humanos com a exposição a ondas eletromagnéticas de alta frequência, podendo se tornar um problema potencial de saúde pública em virtude do uso crescente de sistemas de comunicação por radiofrequência.

No Brasil já é possível encontrar esta preocupação pelos órgãos públicos através das regulamentações existentes, mas também em referenciais técnicos de certificações de sustentabilidade. Esses referenciais procuram atender a questões básicas de saudabilidade no conceito de edifícios sustentáveis. Estudos na área da saúde afirmam que os níveis de exposição regulamentados por órgãos internacionais, dos quais o Brasil é um seguidor, não contemplam os efeitos biológicos das radiações de alta frequência e assim, permitem níveis que do ponto de vista biológico podem ser inclusive genotóxicos. Chama a atenção a coincidência de diversos estudos apontando efeitos da proximidade de estações base de celulares, como dores de cabeça, fadiga, náuseas e perturbação do sono e irritabilidade que as ondas eletromagnéticas causam sobre indivíduos em repouso, à noite, portanto relacionados frontalmente à ideia de conforto. Em especial, tendências depressivas e um “sentimento de desconforto” são relatados em pacientes expostos a ondas eletromagnéticas (OBERFELD, 2007).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Stone (1997), O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos, por meio do Programa de Automação da Construção nº 3, intitulado Atenuação do Sinal Eletromagnético em Materiais de Construção, publicou uma série de dados referente à atenuação de ondas eletromagnéticas em vários sistemas construtivos. Este estudo contou com um sistema de trilhos que permitiam o deslocamento das amostras de forma perpendicular à linha de transmissão, a fim de proceder ensaios com várias amostras ao mesmo tempo, analisando sistemas com espessuras diferentes. Cada material ou sistema construtivo contou com ensaios com 3 ou 4 espessuras diferentes, além de um escudo eletromagnético, com 2,5 m² e 3 mm de espessura de painel feito de alumínio para bloquear qualquer múltiplo sinal refletido.

Contudo, Dobkin (2005), afirma que o estudo de Stone (1997) apresenta algumas limitações de dados, como nenhum experimento para medir a reflexão das amostras, embora os dados foram medidos de forma a retirar qualquer reflexão do ambiente em volta da área de teste. Segundo estudo de Peña *et al.* (2003, *apud* Dobkin, 2005), análises de blocos e concreto sob radiação de 900 MHz obtiveram resultados semelhantes com os pesquisados por Stone (1997).

Dobkin (2005) cita ainda pesquisa realizada por Reifsneider (2003), na qual as recomendações de atenuação de materiais como vidro, chapas para divisórias, madeira e tijolo, são em boa parte consistentes com as de Stone (1997), enquanto que os dados para concreto são consistentes com Peña *et al.* (2003). O autor afirma ainda que estudos realizados por diversos autores apresentam constantemente resultados discrepantes entre si.

Em outro estudo, Sagnard e El Zein (2005) desenvolveram estudo no qual são propostos métodos de processamento de dados para a caracterização dielétrica de coeficientes de reflexão dependente da frequência de materiais de construção, considerando uma faixa de frequência ampla. Este trabalho, enfim, procurou caracterizar os materiais de construção de camada única. Para comprovar a teoria, Sagnard e El Zein (2005) utilizaram acrílico (*plexiglass*) como referência por ter suas propriedades dielétricas bem caracterizadas em outro estudo.

Seidel e Rappaport (1992) apresentam em seu trabalho análises estatísticas de medições de perdas no caminho em uma frequência de 914 MHz dentro de quatro edificações, e então classificam as medições baseadas nas envoltórias físicas do espaço. Segundo Seidel e Rappaport (1992), as medições em edifícios de escritório tinham transmissores e receptores localizados em um mesmo nível (pavimento), a fim de quantificar a perda causada pelas divisórias e paredes de concreto entre os equipamentos.

Wilson (2002) em seu experimento investiga a propagação de radiofrequência através de diferentes sistemas construtivos comuns dentro de uma faixa de frequência. O autor procura analisar e comparar a energia transmitida, refletida e absorvida em duas bandas de frequência específicas para sistemas WLAN nos padrões IEEE 802.11. Primeiramente foram realizados testes nos materiais compostos, desde em ambiente construído ou em modelos construídos em laboratório para determinar e modelar as perdas através destas estruturas. Esses são considerados como ensaios em espaço aberto, realizados com antenas tipo corneta. O segundo tipo de ensaio realizado por Wilson (2002) foi realizado em materiais homogêneos, para determinar a permissividade complexa precisa do material, na qual poderia ser utilizada para cálculos da perda teórica através de qualquer composto. A técnica mais comum para este tipo de teste consiste em determinar a

permissividade por meio de parâmetros de difusão quando a amostra é colocada no caminho de uma onda eletromagnética.

Outro trabalho que procurou verificar como diferentes paredes e diferentes materiais afetam a atenuação eletromagnética nas frequências de 433 MHz, 868 MHz, 2,4 GHz e 5,0 GHz foi desenvolvido por Ali-Rantala *et al.* (2003). Conforme os autores, foram analisadas paredes de concreto, madeira e chapa de gesso, em diferentes espessuras: 0,15 m, 0,20 m, 0,25m, 0,30m e 0,40 m. Esta análise contou com a utilização de modelos de propagação computacional, chamados *Multi-Channel-Coupling*. Este estudo desenvolveu uma simulação de ambiente construído.

3. OBJETIVO

Determinar experimentalmente os coeficientes de atenuação de ondas eletromagnéticas de alta frequência em sete amostras de sistemas construtivos de vedação utilizados no Brasil.

4. MÉTODO

Este método pode ser descrito como uma medição seletiva e direcional, pois é feita numa frequência determinada (seletiva) e sabe-se a posição da fonte do campo (direcional). Foram realizados ensaios em campo aberto, com o propósito de reduzir fenômenos de reflexão na área de testes.

Esses ensaios compreendem a utilização de uma antena acoplada a um gerador de sinal de alta frequência, na qual poderá ter o parâmetro alterado, assim como a energia do sinal. Essa antena transmissora estava a certa distância da amostra (modelo reduzido) e direcionada perpendicularmente ao seu centro. Outra antena estava localizada simetricamente oposta à primeira, com a amostra ao centro das duas. Essa antena receptora estava acoplada a um analisador de espectro, no qual foi possível analisar a potência e frequência recebida através da amostra. Observou-se neste experimento (que, por definição, é uma estratégia explanatória, mas cujo caráter exploratório se ressalta aqui, dadas as condições de ausência de trabalhos similares prévios no mesmo grupo de pesquisa), o coeficiente de atenuação de cada sistema construtivo para fins de comparação, por meio da análise do sinal emitido pelo gerador.

Esse experimento analisou apenas as frequências de 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz, que correspondem às frequências utilizadas no Brasil para telefonia móvel 3G, além das frequências de 2400 MHz e 2500 MHz, que correspondem as frequências 4G e WLAN.

As unidades de análise neste experimento são os coeficientes de atenuação de ondas eletromagnéticas em frequência pré-determinadas de sistemas construtivos de vedação, afim de obter o coeficiente de atenuação (dB) destas ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas.

Esse trabalho teve como referência o trabalho de Stone (1997) e ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

1. Caracterização das amostras utilizadas.
2. Determinação das configurações do experimento.
3. Análise do espectro de resposta em espaço livre, que consiste em analisar o sinal recebido sem qualquer amostra na área de teste.
4. Análise do espectro de resposta para as amostras testadas.
5. Análise dos resultados com base em métodos estatísticos.

4.1. Caracterização das amostras utilizadas

Foram produzidas 07 (sete) amostras de sistemas construtivos de vedação, de 40 x 40 cm. As amostras correspondem aos seguintes sistemas construtivos:

1. Alvenaria com blocos cerâmicos não estruturais (alvenaria tradicional);
2. Alvenaria com blocos cerâmicos estruturais;
3. Alvenaria com blocos de concreto;
4. Alvenaria com blocos de solo-cimento;
5. Estrutura de *Light Wood Framing*;
6. Estrutura de *Light Steel Framing* e;
7. Estrutura de *Drywall*.

Essas sete amostras representam alguns dos sistemas construtivos de vedação utilizados na construção civil. Todos os materiais utilizados possuem normas elaboradas pela ABNT, Governo Federal ou Normas Internacionais que especificam suas características e propriedades construtivas.

Todo o procedimento de execução das amostras foi registrado e devidamente caracterizado.

As amostras de alvenaria foram construídas no CESEC (Centro de Estudos da Engenharia Civil), na UFPR (Universidade Federal do Paraná). Os blocos utilizados foram obtidos de empresas que atendem as normas da ABNT que caracterizam estes materiais. As amostras dos sistemas construtivos pré-fabricados foram produzidas por empresas especializadas em construir com esse sistema.

4.2. Determinação das configurações do experimento

As etapas para determinação das configurações do experimento são essas:

1. Equipamentos e materiais utilizados.
2. Local para realização dos ensaios.
3. *Setup* do experimento.
4. Protocolo de coleta de dados.
5. Método para análise estatística.

4.2.1. Equipamentos e materiais utilizados

Esta pesquisa utilizou um equipamento para emissão de sinais de determinadas frequência, um equipamento para receber estes sinais e conectados a estes e antenas de alto ganho por meio de cabos coaxiais.

Para geração de sinal de alta frequência, foi utilizado um gerador acoplado a uma antena emissora. Este equipamento, da marca Hewlett-Packard, modelo 8665B (*High Performance Signal Generator*), tem a capacidade de emitir sinais até 6 GHz.

Os sinais emitidos pela antena acoplada ao gerador de sinais, eram recebidos por outra antena de mesma propriedade, acoplada a um analisador de espectro, modelo ANRITSU Spectrum Master MS2723C .



figura 1: gerador de sinal HP 8665B

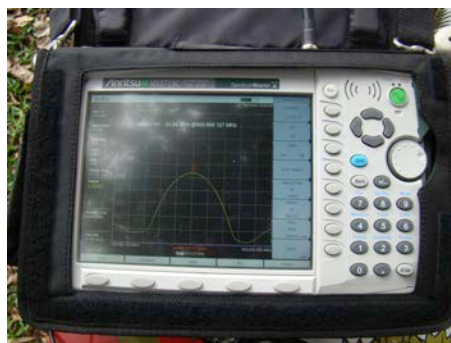


figura 2: analisador de espectro MS2723C

Foram utilizados dois tipos de antenas para este experimento:

1. Antena celular Quadriband 800, 900, 1800 e 1900 MHz: marca Aquário, modelo CF-4000, 12 dBi, tipo *Yagi*.

2. Antena parabólica de grade 20 dBi: marca Aquário, modelo MM-2420.

Conforme estudo de Stone (1997), este trabalho contou ainda com escudo eletromagnético, com 1,44 m² e 3 mm de espessura feito de aço para bloquear qualquer múltiplo sinal refletido, exceto os sinais que atravessam a amostra. Este elemento permitiu ainda bloquear parte do sinal ocasionado pela difração da onda nas arestas da própria amostra.

O painel de aço (3,0 mm) tinha 1,20 x 1,20 m, formando uma área de borda com a amostra de 40 cm em todas as direções do plano de incidência da onda eletromagnética. O painel tem um vão (janela) de 37,5 x 37,5 cm ($A = 0,14 \text{ m}^2$) no centro, cujo sinal transmitido pode passar sem obstrução.

4.2.2. Local para realização dos ensaios

O local para realização desses ensaios ocorreu em espaço aberto, sem obstáculos como paredes nas proximidades das medições, de forma a atenuar efeitos de reflexão e difração. Optou-se por um meio natural, onde as ondas eletromagnéticas estariam sujeitas em grande parte ao fenômeno de espalhamento.

Era necessário que o local estivesse nas proximidades do edifício do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), visto que os equipamentos seriam deslocados do laboratório até a área externa. Assim, foi escolhida uma área anexa ao edifício, onde foi possível deslocar os equipamentos e conectá-los à

energia elétrica por meio de uma extensão de cabos. O local escolhido tem como forração vegetação gramínea, composto por alguns arbustos e árvores.

4.3.3. Setup do experimento

Considerando o ganho das antenas Yagi, de 12 dBi, e as dimensões da amostra ($L = 0,40$ m), determinou-se que a distância das antenas até a amostra seria de 0,80 m, conforme:

$$G \approx \frac{4r^2}{L^2} \quad \text{equação 1}$$

Onde:

G é o Ganho

r é a distância da antena à amostra (m)

L é a largura da amostra (m)

As antenas parabólicas foram posicionadas na mesma distância das antenas Yagi, em torno de 0,80 m das amostras.

Dada a distância das antenas às amostras, foi calculada a região iluminada pelo feixe emitido pelas antenas emissoras. Para o cálculo da região iluminada pela antena Yagi e parabólica, foi feita uma média de todos os ângulos de abertura do feixe principal das antenas emissoras, considerando todas as frequências permitidas pelos equipamentos. Assim, tem-se:

1. Antena Yagi: $\Theta = 49^\circ$

2. Antena parabólica: $\Theta = 11,5^\circ$

Dada a distância de 0,80 m e os ângulos de abertura do feixe das antenas emissoras, foi possível conhecer a região iluminada nas amostras.

Assim, as áreas iluminadas são:

1. Yagi: $A = 0,407$ m²

2. Antena Parabólica: $A = 0,0254$ m²

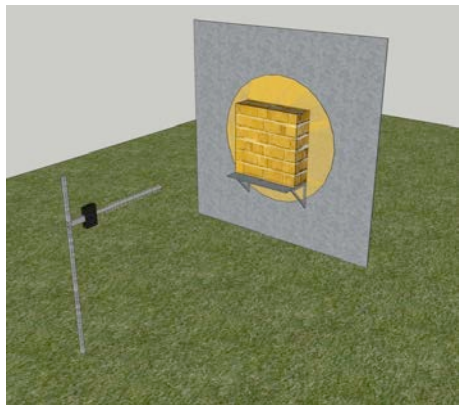


figura 3: área iluminada antena Yagi

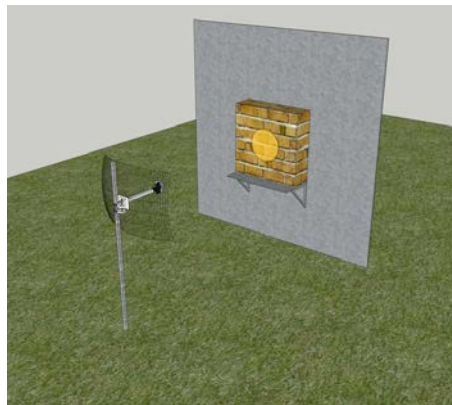


figura 4: área iluminada antena parabólica

4.4.4. Protocolo de coleta de dados

Foram feitas cinco séries de medições ao todo, contemplando em cada série:

1. Registro de temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa;
2. Registro da atenuação eletromagnética em dB, das frequências de 800, 900, 1800, 1900, 2400 e 2500 MHz, para os seguintes obstáculos:
 1. Livre (sem qualquer obstáculo bloqueando os sinais emitidos);
 2. Fechado (uma chapa de aço 3,00 mm bloqueava 100% da janela do escudo metálico);
 3. Amostra de Drywall;
 4. Amostra de Light Wood Framing;
 5. Amostra de Light Steel Framing,
 6. Amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais;
 7. Amostra de Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais;

8. Amostra de Alvenaria de blocos de concreto;
9. Amostra de Alvenaria de blocos de solo-cimento.

A leitura das medições foi realizada, em todo momento, por um mesmo operador do analisador de espectro. Este anotava sempre valores mínimos e máximos de cada medição.



figura 5: medição CF-4000 Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais



figura 6: medição final MM-2420 Alvenaria de blocos de concreto

Os coeficientes de atenuação de cada amostra para cada frequência eram definidos pela diferença entre a média dos valores registrados em cada medição da respectiva amostra, e a média dos valores registrados das medições livres (sem amostras na área de teste), conforme:

$$Att_{A,800} (dB) = Att_{A',800} (dB) - Att_{L,800} (dB) \quad \text{equação 2}$$

Onde:

$Att_{A,800}$ = coeficiente de atenuação (dB) para uma determinada amostra A, na frequência de 800 MHz

$Att_{A',800}$ = atenuação (dB) para uma determinada amostra A, na frequência de 800 MHz

$Att_{L,800}$ = atenuação (dB) sem obstáculo na área de teste, na frequência de 800 MHz

4.4.5. Método para análise estatística

Como forma de analisar os resultados obtidos, foi realizado um modelo estatístico fatorial considerando dois fatores a saber: a) frequência e b) sistema construtivo de vedação.

Assim, esse método de análise procura saber se existe interação entre os fatores. Para isto, utilizou-se a técnica estatística chamada ANOVA (do inglês, *ANalysis Of VAriance*), que é utilizada para testar a hipótese de que as médias de duas ou mais populações são iguais. A ANOVA permite testar a igualdade de médias de uma variável contínua incluindo dois fatores (*two-way* ANOVA).

Com base nesta técnica, se determina se a interação entre dois fatores é significativa ou não, calculando a razão entre MQ e MQR (teste F).

Em caso de haver interação significativa entre os dois fatores, inicia-se a Comparação Múltipla das Médias (CMM). Essa comparação permite identificar as interações entre pares de médias específicos ou em combinações lineares das médias. Assim, sabe-se qual fator interage significativamente com o fator que se compara. Constata-se uma diferença significativa entre fatores quanto a diferença entre eles é maior que o valor do limite de decisão (L_D).

Desta forma, verifica-se qual dos fatores apresenta interação significativa e se existe interação significativa entre esses. Para cada interação significativa, elabora-se a comparação múltipla das médias, fixando-se um dos fatores.

Por meio da CMM, será possível classificar e verificar qual o sistema construtivo de vedação apresenta, neste trabalho, o maior e o menor coeficiente de atenuação de ondas eletromagnéticas de alta frequência analisadas.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Na sequência são apresentados os resultados das médias obtidas nas medições realizadas nos ensaios, sistematizados por frequência analisada, considerando todas as sete amostras. Os valores apresentados para

cada sistema construtivo de vedação representam a variação do coeficiente de atenuação entre a atenuação da amostra e a atenuação sem obstáculo (livre) na área de teste.

Cabe destacar que o gerador de sinal HP 8665B foi configurado com um potência de transmissão na ordem de 0 dBm (decibel miliwatt), de forma que valores negativos medidos nos ensaios representam atenuação da onda, enquanto valores positivos representam amplificação da onda.

Assim, considera-se que quanto maior o coeficiente de atenuação, em módulo, maior é a capacidade do sistema construtivo de atenuar o sinal recebido.

Como exemplo, para a frequência de 2500 MHz, a amostra que apresentou (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior coeficiente de atenuação foi a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais ($\Delta = -18,11$ dB). Pode-se observar ainda os resultados analisando o fator sistema construtivo de vedação. Considerando o sistema construtivo Drywall, a atenuação é máxima na frequência de 1800 MHz, com o valor de -3,87 dB.

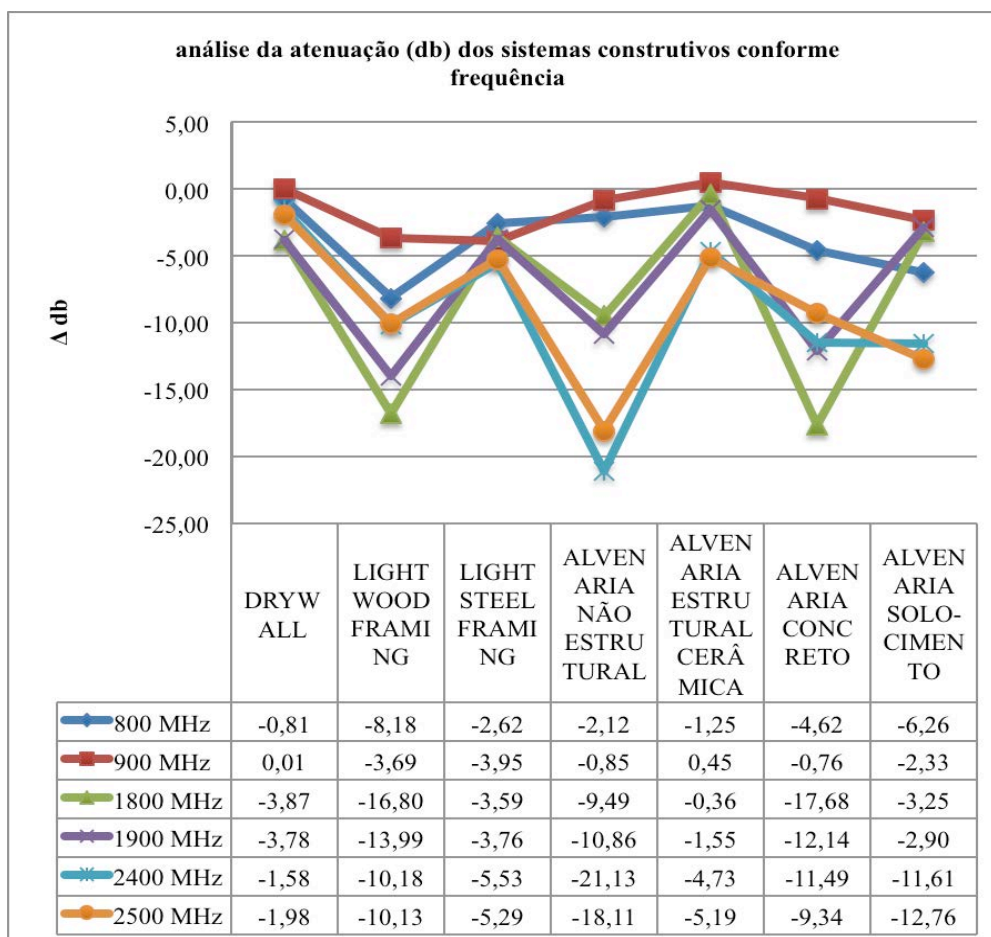


figura 7: resultado das medições realizadas com todas as amostras, em todas as frequências

Com base nesses dados, foi possível realizar as médias gerais do coeficiente de atenuação (dB) para cada amostra analisada, e assim classificá-las quanto a sua capacidade de atenuar ondas eletromagnéticas na faixa de 800 à 2500 MHz, conforme tabela 1. Cabe destacar que considera-se o sistema construtivo de vedação com maior coeficiente de atenuação, aquele que apresenta (em módulo, ou seja, sem o sinal algébrico) o maior valor da média geral.

tabela 1: classificação dos sistemas construtivos de vedação

Ordem	Sistema construtivo de vedação	Média geral (dB)
1	<i>Light Wood Framing</i>	-10,50
2	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	-10,43
3	Alvenaria de blocos de concreto	-9,34
4	Alvenaria de blocos de solo-cimento	-6,52
5	<i>Light Steel Framing</i>	-4,12
6	Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	-2,11
7	<i>Drywall</i>	-2,00
Média geral de todas as amostras como referência		-6,43

As amostras que obtiveram os maiores coeficientes de atenuação foram o *Light Wood Framing* e a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais. A amostra do sistema construtivo pré-fabricado obteve a maior atenuação, com -10,50 dB, sendo também a amostra que apresenta a maior quantidade de materiais compondo o sistema construtivo. Surpreende contudo o coeficiente de atenuação da amostra alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, que corresponde ao sistema construtivo mais utilizado no Brasil, com -10,43 dB. Cabe destacar que tanto essa, quanto as demais amostras de alvenaria, não foram revestidas com qualquer tipo de argamassa de revestimento, de forma que o coeficiente de atenuação dessas tendem a ser maiores no uso cotidiano. Exceção à alvenaria de blocos de solo-cimento que comumente é utilizada aparente e impermeabilizada. Já as amostras dos sistemas pré-fabricados necessitariam receber apenas acabamento, como regularização da superfície e pintura.

Com desempenho muito próximo às duas primeiras, a alvenaria de blocos de concreto apresenta coeficiente de atenuação de -9,34 dB. Este coeficiente é superior ao da alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, que nesta pesquisa corresponde a -2,11 dB. Cabe ressaltar a amplitude dos coeficientes, visto que são blocos de dimensões semelhantes.

A alvenaria de blocos de solo-cimento possui um coeficiente de atenuação abaixo da alvenaria de blocos de concreto, porém ainda acima da média, com -6,52 dB, contra -6,43 dB da média geral.

Os próximos dois sistemas construtivos, juntamente com a Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, obtiveram coeficientes abaixo da média. O *Light Steel Framing*, apresentou coeficiente de atenuação de -4,12 dB, acima contudo da alvenaria de blocos cerâmicos estruturais, com -2,11 dB, conforme já apresentado.

Finalmente, o sistema construtivo com menor coeficiente de atenuação foi o *Drywall*, com -2,00 dB.

De acordo com o método estatístico ANOVA, foi possível afirmar ainda que o efeito da interação é significativa entre as fontes de variação: frequência e sistema construtivo de vedação.

A tabela 2 apresenta estatisticamente o efeito dos fatores e da interação entre os dois.

tabela 2: análise de variância para projetos cruzados de 2 fatores

Fator de Variação	Teste F	f TAB
Frequência (A)	530,88	2,22
Sistema construtivo de vedação (B)	655,18	2,11
AB	75,18	1,47

Com base nestes cálculos, pode-se afirmar que os sistemas construtivos de vedação não possuem um parâmetro de atenuação constante para frequências na faixa de micro-ondas, podendo se comportar de formas distintas para frequências distintas.

Devido à constatação da interação significativa entre os fatores analisados, foram realizadas comparações múltiplas das médias gerais, considerando o valor encontrado para o limite de decisão (L_D) de 1,08, o que corresponde a três vezes o valor do desvio padrão ($S_X = 0,36$).

De acordo com este modelo estatístico, pôde-se chegar aos resultados apresentados na tabela 3. Os resultados DS e DNS representam o termo Diferença Significativa e Diferença Não Significativa, respectivamente. Assim, resultados com valores acima de 1,08 representam DS, enquanto resultados abaixo de 1,08, representam DNS.

tabela 3: CMM Médias gerais dos sistemas construtivos de vedação

Comparação entre os sistemas construtivos de vedação		Resultados	
<i>Light Wood Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	0,07	DNS
Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais	Alvenaria de blocos de concreto	1,09	DS
Alvenaria de blocos de concreto	Alvenaria de blocos de solo-cimento	2,82	DS
Alvenaria de blocos de solo-cimento	<i>Light Steel Framing</i>	2,40	DS
<i>Light Steel Framing</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	2,02	DS
Alvenaria de blocos cerâmicos estruturais	<i>Drywall</i>	0,10	DNS

Com base nesses dados, têm-se que as amostras de *Light Wood Framing* e de Alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, estatisticamente, apresentam o mesmo desempenho na atenuação de ondas eletromagnéticas entre 800 MHz e 2500 MHz. Embora matematicamente a amostra de alvenaria de blocos de concreto tenha apresentado uma diferença significativa na comparação entre as médias com a amostra de alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais, pode-se considerar que esta apresenta desempenho muito similar a essa, pois a diferença entre o resultado das médias e o do limite de decisão ficou em apenas 0,01 (um centésimo).

Com uma atenuação menor que os três primeiros, a amostra de alvenaria de blocos de solo-cimento apresenta uma diferença significativa em relação à amostra de alvenaria de blocos de concreto, com valor de 2,82. A amostra de alvenaria de blocos de solo-cimento apresenta, contudo, resultado acima da média geral considerando todas as amostras analisadas.

O último grupo de amostras apresentaram coeficientes de atenuação (dB) abaixo da média geral. Entre as seguintes amostras, pode-se concluir que existe uma diferença significativa entre o coeficiente de atenuação:

1. Alvenaria de blocos de solo-cimento e *Light Steel Framing*;
2. *Light Steel Framing* e alvenaria de blocos cerâmicos estruturais.

Ainda neste grupo, pode-se afirmar que as amostras entre alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e *Drywall* não apresentam diferença significativa ao comparar as médias gerais de atenuação, de forma que, estatisticamente, possuem mesmo desempenho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou determinar de forma experimental o coeficiente de atenuação eletromagnética em sete amostras que representam sistemas construtivos de vedação utilizados no Brasil. Evidencia-se cada vez discussões científicas a respeito de eventuais impactos na saúde dos seres vivos oriundas das ERB (Estações Rádio Base), para fins de comunicação sem fio. Os seres humanos recebem diariamente doses constantes de radiação de alta frequência na faixa de micro-ondas, tanto no interior quanto no exterior das edificações na qual habita e trabalha. Considerando ainda uma crescente preocupação mundial a respeito dos limites que podem vir a ser prejudiciais à saúde das pessoas, este trabalho procurou analisar os coeficientes de atenuação eletromagnética de alta frequência de sete amostras de sistemas construtivos de vedação, de forma a conhecer seu desempenho no ambiente construído.

Assim, foram analisadas sete amostras distintas, em seis diferentes frequências. Estas correspondem às frequências utilizadas pela telefonia celular no Brasil.

Com base nesta pesquisa explanatória, foi possível obter os coeficientes de atenuação das sete amostras, com base em cinco baterias de medições. Os dados obtidos têm a finalidade de caracterizar as amostras e fornecer dados a respeito desta relação com as várias frequências estudadas. Os sistemas construtivos de vedação representados pelas amostras podem ser divididos em dois grupos: o primeiro acima da média com os maiores coeficientes e o segundo abaixo da média com os menores coeficientes de atenuação. Fazem parte do primeiro grupo, em ordem decrescente: o *Light Wood Framing*, a alvenaria de blocos cerâmicos não estruturais e a alvenaria de blocos de concreto. O segundo grupo engloba os seguintes sistemas construtivos, em ordem decrescente: o *Light Steel Framing*, a alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e o *Drywall*. A alvenaria de blocos de solo-cimento se enquadrou entre os dois grupos, com valor bem próximo à média geral.

Porém, na prática, as edificações estão sendo irradiadas, simultaneamente, com um espectro muito vasto de ondas eletromagnéticas. Assim, com base nos dados coletados, esta pesquisa classificou as sete amostras quanto ao seu coeficiente de atenuação em todas as frequências analisadas, por meio das médias obtidas.

Foi realizada ainda uma comparação das médias de cada amostra analisada e verificado se há diferença significativa entre os sistemas construtivos de vedação, por meio do método estatístico ANOVA. Neste método de análise, foi possível concluir que o efeito da frequência sobre os sistemas construtivos é significativo. Para uma determinada amostra, a atenuação (dB) varia em função de cada frequência emitida, ou seja, uma amostra pode atenuar significativamente uma onda em uma determinada frequência, mas pode não atenuar significativamente em outra. Da mesma forma ocorre com o efeito sistema construtivo de vedação é significativo. Neste caso, verificou-se que os sistemas construtivos têm propriedades de atenuação diferentes para uma determinada frequência emitida.

Da mesma maneira que na análise das médias dos coeficientes de atenuação, pode-se afirmar que os três sistemas construtivos com maior coeficiente não apresentam diferenças significativas entre si, estatisticamente. Pode-se dizer o mesmo entre a alvenaria de blocos cerâmicos estruturais e do *Drywall*, que entre si, apresentam desempenho semelhante. Já os demais sistemas construtivos, representados pelas amostras analisadas e considerando os condicionantes fenomenológicos dos ensaios, apresentam diferenças significativas de desempenho entre si.

Assim, estes dados podem ser utilizados como referência para especificação em projetos arquitetônicos em casos em que a atenuação de micro-ondas venha a ser uma demanda do usuário e/ou do profissional, de selos de certificação e de políticas públicas de precaução, visto que a possível relação entre

exposição aos campos eletromagnéticos e danos à saúde tem suscitado uma preocupação na população exposta a eles, uma vez que existem evidências de risco à saúde associados a essa exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI-RANTALA, P. et al. **Different Kinds of Walls and Their Effect on the Attenuation of Radiowaves Indoors**. IEEE , pp. 1020-1023, 2003.
- DOBKIN, D. M. **RF Engineering for Wireless Networks: Hardware, Antennas, and Propagation (Communications Engineering)**. Newnes, 2005.
- OBERFELD, G. **Environmental Medicine Evaluation of Electromagnetic Fields**. ÖÄK (Austrian Medical Association) Environmental Medicine Diploma Course, Seminar 3 – Electromagnetic Fields, 21 and 22 April 2007.
- PEÑA, D.; FEICK, R; HRISTOV, H.; GROTE, W. **Measurement and Modeling of Propagation Losses in Brick and Concrete Walls for the 900 MHz band**. IEEE Trans Antennas and Propagation 51, p. 31, 2003.
- SAGNARD, F.; El Zein, G. **In Situ Characterization of Building Materials for Propagation Modeling: Frequency and Time Responses**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation , 53 (10), pp. 3166-3173, 2005.
- SEIDEL, S. Y.; RAPPAPORT, T. S. **914 MHz Path-Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings**. IEEE Transactions on Antenna and Propagation , 40 (2), pp. 207-217, 1992.
- STONE, W. C. **Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials**. NISTIR 6055, NIST Construction Automation Program Report No. 3, United States Department of Commerce Technology Administration, 1997.
- WILSON, R. **Reflection and Transmission Losses Through Common Building Materials**. Fonte: Magis Networks, Inc.: www.magisnetworks.com. Acesso em 15 de agosto de 2014.