

Ramificações da física de plasmas para avaliação de radiação eletromagnética no ambiente construído

Vitor C. Oliveira, *Member, IEEE*, Rafael G. Tozzo, Omar Carvalho Branquinho, *Member, IEEE*, Alexandre A. Mota, *Member, IEEE*, Lia T. M. Mota, *Member, IEEE*

Abstract— The unceasing challenge to successfully improve our surrounds in terms of non-harmful and sustainable infrastructure presents a growing concern, i. e., electromagnetic radiation. These wireless emissions have spread over the last decades due to the increase of radio based telecommunications not only outside as well as indoor built environments. To fully consider this expansion, it is necessary to understand that almost the entire commercial and open spectrum bands in urbanized areas are occupied, leading to interference intensification. So, to prevent it from becoming significant, radiation emitters are set and/or designed to operate at elevated power levels. And, given that, currently, these devices are practically omnipresent, at a few meters or even an arms distance and inside the rooms to almost everyone, to study the development of ways to protect humans from excessive electromagnetic propagation. In this sense, this paper aims to do a literature review and an expository demonstration regarding the concepts of plasmas physics, especially in regards to magnetohydrodynamics. Coupled with it, an experimental setup implementation was developed as a way to perform a mitigation of these signals through electromagnetic shielding within built environments.

Index Terms— Electrodynamics, Electromagnetic Radiation, Plasma Physics, Magnetohydrodynamics (MHD), Built Environment, Evaluation, Mitigation.

Vitor Chaves de Oliveira (e-mail: vitor.c.br@ieee.org) - Doutorando em Engenharia Elétrica (Mackenzie), Mestre em Engenharia Elétrica (PUC).

Rafael Gonçalves Tozzo (e-mail: rafa_gtozzo@hotmail.com) - Mestrando em Sistemas de Infraestrutura Urbana (PUC) e Eng. Eletricista (PUC).

Omar Carvalho Branquinho (branquinho@puc-campinas.edu.br) - Membro do corpo docente do Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações e do Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Líder do grupo de pesquisa Sistemas de Telecomunicações e Informática - Gestão de Redes e Serviços. Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (1985), com mestrado (1991) e doutorado (2001) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Desenvolve pesquisa em redes de sensores sem fio (RSSF) interligada à Internet para criação da Internet das Coisas.

Alexandre de Assis Mota (amota@puc-campinas.edu.br) - Docente permanente do Mestrado Profissionalizante em Engenharia Elétrica e do Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas. É Engenheiro Eletricista Pleno (UNICAMP-1998), com mestrado em Engenharia Elétrica (UNICAMP-2001), doutorado em Engenharia Elétrica (UNICAMP-2005) e pós-doutorado em Engenharia Elétrica, no país (UNICAMP-2006) e no exterior (McGill University-Canadá -2007). Atua na interface entre as áreas de Sistemas Elétricos de Potência, Redes de Telecomunicações, Sistemas de Infraestrutura Urbana e Eficiência Energética.

Lia Toledo Moreira Mota (lia.mota@puc-campinas.edu.br) - Engenheira Eletricista formada pela Universidade Estadual de Campinas (1998), com mestrado em Engenharia Elétrica (2001), doutorado em Engenharia Elétrica (2005) e Pós-doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de

I. INTRODUÇÃO

O desafio incessante para melhorar com êxito a infraestrutura que nos rodeia de forma sustentável e não prejudicial à saúde humana apresenta uma preocupação crescente, isto é, a radiação eletromagnética [5] [6]. Estas emissões sem fio se espalharam nas últimas décadas, devido ao aumento de sistemas de telecomunicações baseados em sistemas rádio, não só em áreas externas, bem como no interior de ambientes construídos [8]. Para ter-se plenamente considerada esta expansão, é necessário compreender que quase a totalidade das bandas, faixas de frequência, comerciais e abertas, do espectro, em áreas urbanizadas estão ocupados [10]. Isto acarreta a intensificação de interferências. Assim, para evitar que estas se tornem significativas, emissores de radiação são estabelecidos e/ou concebidos para funcionar em níveis de potência elevados. E, dado que, atualmente, estes dispositivos são praticamente onipresentes. Sendo posicionados a poucos metros ou até mesmo a uma distância ao alcance das mãos da maioria dos indivíduos adicionados a outros aparelhos também no interior dos cômodos. Neste cenário, estudar o desenvolvimento de formas de proteger os seres humanos da emissão eletromagnética excessiva torna-se relevante [9] [16]. Dessa maneira, este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão da literatura e uma demonstração expositiva sobre os conceitos de física de plasmas, especialmente no que diz respeito à magnetohidrodinâmica [1] [7] [12] [15]. Juntamente com isso, uma aplicação de configuração experimental foi desenvolvida como um modo para realizar atenuação, ou seja, uma mitigação destes sinais através de blindagem eletromagnética dentro de ambientes construídos. [16] [17]

Campinas (2006); em Engenharia Elétrica pela McGill University (2006-2007), Montreal, Canadá; e em Eficiência Energética pela Universidade Estadual de Campinas (2010). Atualmente, é Docente permanente do PPG em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas e do PPG em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas. Tem experiência nas áreas de Sistemas de Energia Elétrica, Automação, Gestão de Redes de Serviços de Telecomunicações e Planejamento Integrado de Sistemas de Infraestrutura Urbana e Eficiência Energética.

II. FÍSICA DE PLASMAS

A matéria, em seu sentido físico, possui quatro estados básicos: sólido, líquido, gasoso e plasma. Todos estes estados estão conectados com a questão da temperatura, isto é, da energia cinética das partículas e determina o estado físico de um dado corpo, ou seja, de uma determinada quantidade de matéria. Esta matéria pode transitar pelos já citados quatro estados e isto ocorre através da energia térmica em trânsito, ou seja, pelo calor fornecido a um corpo. Dessa forma, o aumento do calor pode transferir a matéria a partir do estado sólido para o líquido, em seguida para o gasoso e depois para o chamado estado de plasma. Este último passo, pode ser denominado como ionização, pois este processo permite que os íons e elétrons fiquem separadamente livres. Isto, porque uma vez que a dissociação é atingida por um aumento na temperatura (aquecimento), então este corpo, geralmente um gás, terá suas moléculas e seus átomos apartados em partículas positivamente carregadas. Com isso, a matéria em estado de plasma atinge propriedades relativamente parecidas com as de alguns metais, como a alta condutividade elétrica e a resposta a campos magnéticos. [2] [11] [12]

Além das supracitadas características dos plasmas, se faz necessário ressaltar alguns pontos como a questão do comportamento coletivo. Isto se conecta a ionização, a recombinação, interações de volume, da aproximação e da frequência de plasma. [7]

Primeiramente, nota-se que um gás com apenas 1% de ionização pode ser considerado um plasma. Logo, um gás tanto parcial quanto totalmente ionizado pode ser chamado como o quarto estado da matéria. Comumente, se pode afirmar que ele é um gás com baixa densidade e alta temperatura, pois estas são as condições que colaboram para a ionização ocorrer e que são desfavoráveis à recombinação. E, sem esta religação das moléculas, átomos e elétrons, que levaria o sistema a um gás neutro, a condição de plasma se mantém. [3] [4] [9] [12]

Ademais, se torna válido mencionar que o plasma possui, aproximadamente e salvo algumas exceções, uma mesma quantidade de íons e elétrons, ou seja, é, observando-se macroscopicamente, neutro. Todavia, essas cargas podem se mover e nesse movimento, correntes elétricas, e conseqüentemente, campos magnéticos são originados. Com isto, uma carga afeta as demais e vice-versa e, a esta conduta, dá-se o nome de comportamento coletivo, que ocorre através das forças de Coulomb de longo alcance, que é a principal característica que define o plasma. Este efeito chamado de quasi-neutralidade, também faz com que as partículas não sejam ‘livres’ e atuem formando campos elétricos intensos para corrigir algum desvio que possa alterar esta condição. Estes campos elétricos formados a partir de qualquer perturbação (mesmo que estocástica) acabam por denotar uma oscilação dos elétrons ao redor dos íons. Esta decorrência se chama frequência de plasma. [3] [4] [9] [12]

Concomitantemente, é preciso lembrar que é imprescindível que haja uma determinada aproximação entre as cargas, isto é, uma proximidade para que uma carga interaja com as demais e não somente com a mais próxima (vizinha). Tal predicado se chama aproximação de plasma e esta propriedade define o

comportamento coletivo. Para que ela seja válida a quantidade de portadores de carga (elétrons) no lado interno da denominada ‘esfera de influência’, definida pelo comprimento de Debye, deve ser muito superior a uma unidade. [2] [3] [4] [9] [12]

III. MAGNETOHIDRODINÂMICA (MHD)

Dentro das definições da física de plasmas, tem-se que compreender a MHD, que advém do conceito das Ondas de Alfvén. Estas, são vibrações de baixa frequência, se comparadas com a giro-frequência dos íons, que são transversais (perpendiculares) à sua propagação. E esta propagação é paralela ao campo magnético externo. Sendo assim, tem-se que: $k \parallel B$, no qual k é o vetor de onda. Tais ondas surgem através da oscilação, quando ocorrem, do campo magnético. Isto foi introduzido pelo cientista Hannes Olof Gosta Alfvén e forneceu, simultaneamente, as bases para o que se conhece hoje como MHD – Magnetohidrodinâmica. [1] [3] [12] [13]

Tal teoria pode ser classificada como a junção do Eletromagnetismo com a Mecânica de Fluidos. Este trabalho, de apenas meia página, foi publicado em 1942 na revista Nature. E, além de um prêmio Nobel para o autor, trouxe repercussões importantíssimas para o estudo da física de plasmas com um foco relevante na astrofísica e na geofísica. Além disso, ressalta-se que da teoria MHD tem-se que os campos magnéticos conseguem induzir correntes elétricas em um fluido condutor, como o plasma. E isto gera movimento e aquecimento, e modificam-se assim, os campos magnéticos. A MHD analisa o plasma a partir de uma visão macroscópica e, segundo esta teoria, três tipos de ondas podem se propagar no plasma: as ondas de Alfvén (ou ondas magnéticas), causadas através da tensão nas linhas do campo magnético, e as ondas magnetossônicas, rápida e lentas, resultantes da combinação dos efeitos da pressão cinética e da pressão magnética. A Figura 1 ilustra a propagação das ondas de Alfvén transversais. [3] [4] [9] [12]

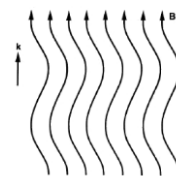


Figura 1: Ondas de Alfvén transversais em um fluido condutor, compressível e magnetizado. A onda se propaga ao longo das linhas de campo, enquanto o movimento do fluido e as oscilações das linhas de campo se dão na direção perpendicular ao campo magnético.

Fonte: Reproduzido de: Ondas de Alfvén no meio interplanetário – Revista Brasileira de Ensino de Física, - COSTA JR *et al*, 2011. (Sociedade Brasileira de Física Website: www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/332302.pdf).

Com a finalidade de descrever essas ondas, demonstram-se a seguir, as relações de dispersão. Para isto, suponha-se um plasma infinito e homogêneo, com um campo magnético uniforme de módulo B_0 , com temperatura e pressão cinética iguais a zero (aproximação de plasma frio). Sendo assim, partindo-se da equação que representa o MHD ideal linear em equilíbrio estático, tem-se que a relação de dispersão será dada pelo corolário matemático a seguir. [4] [12]

Relação de dispersão: $(\omega^2 - k_{\parallel}^2 v_A^2)(\omega^2 - k_{\parallel}^2 v_A^2 - k_{\perp}^2 v_A^2) = 0$ (Eq.1) [12]

Onde: Componente paralela (ao campo magnético) do vetor de onda: $k_{\parallel} = \frac{\mathbf{k} \cdot \mathbf{B}_0}{B_0}$ (Eq.2) [12]

Componente perpendicular (ao campo magnético) do vetor de onda: $k_{\perp} = \frac{\mathbf{k} \times \mathbf{B}_0}{B_0}$ (Eq.3) [12]

Velocidade de Alfvén (elevada ao quadrado por abstração da equação): $v_A^2 = \frac{B_0^2}{\rho}$ (Eq.4) [12]

Partindo-se da equação da relação de dispersão, são alcançados dois modos independentes, cisalhamento e compressional, exibidos na sequência. [4] [12] [14] [15]

Modo Alfvén de cisalhamento: $\omega^2 = k_{\parallel}^2 v_A^2$ (Eq.5) [12]

Modo Alfvén compressional: $\omega^2 = k_{\parallel}^2 v_A^2 + k_{\perp}^2 v_A^2$ (Eq.6) [12]

A ilustração fornecida pela figura 2 busca esboçar a propagação de ambos os modos, sendo (a) cisalhamento e (b) compressional.

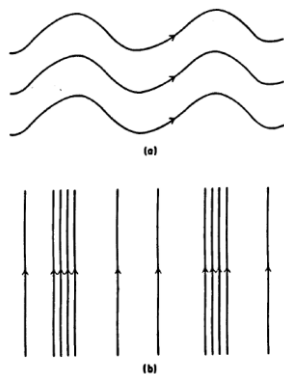


Figura 2: (a) O modo de cisalhamento propaga-se paralelo às linhas do magnético. (b) O modo compressional se propaga provocando a compressão e rarefação da pressão magnética.

Fonte: Reproduzido de: Oscilações MHD Ideal em Tubos de Fluxo... – Instituto de Física – UNICAMP - OCHI, 1997. (UNICAMP WebSite: <http://webbif.ifi.unicamp.br/tesesOnline/teses/IF1074.pdf>).

De forma adicional, ao se colocar a pressão cinética, originam-se os denominados modos magnetossônicos da onda, com relação de dispersão fornecida pela equação a seguir. [4] [12]

Relação de dispersão: $\frac{\omega^2}{k^2} - \frac{(v_A^2 + v_s^2) \pm [v_s^4 + v_A^4 + 2v_s^2 v_A^2 \cos^2 \theta]^{1/2}}{2} = 0$ (Eq.7) [12]

Na qual a velocidade ao quadrado é dada por: $v_s^2 = \gamma p / \rho$ (Eq.8) [12]

Faz-se necessário ressaltar que nesta equação (Relação de dispersão) quando feita com o “-” refere-se à onda magnetossônica lenta e enquanto que quando feita com “+” refere-se à onda magnetossônica rápida. E θ é ângulo entre a direção do campo magnético (B_0) e do vetor de onda (\mathbf{k}). Analisa-se que se $\theta = 0$, a onda magnetossônica rápida é reduzida à onda de Alfvén no modo compressional. [4] [12]

Considerando-se a teoria de MHD ideal vale ressaltar que as citadas ondas se diferenciam por sua polarização. As ondas de

Alfvén estão distinguidas por um deslocamento e uma perturbação do campo magnético perpendiculares ao campo magnético de equilíbrio, já a sua propagação acontece ao longo do campo magnético, sendo assim modos transversais (vide Figura a seguir). Enquanto que para a onda magnetossônica lenta e para a onda magnetossônica rápida podem existir (possuir) componentes transversais e longitudinais. Outra característica das Ondas de Alfvén é que mesmo com a oscilação do fluido e das linhas de campo magnético, as perturbações desta onda não alteram a densidade ou a pressão do meio. A Figura 3 ilustra as relações das oscilações de cada fator (termo/componente) e suas direções. [4] [9] [12] [14]

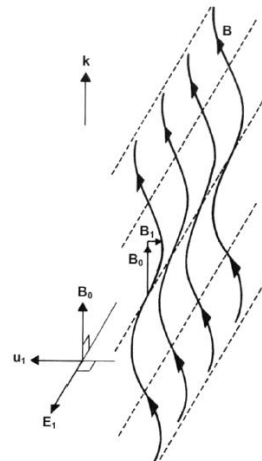


Figura 3: Ilustração esquemática de ondas de Alfvén se propagando ao longo do campo magnético ambiente, mostrando as relações entre os parâmetros oscilantes.

Fonte: Reproduzido de: Ondas de Alfvén no meio interplanetário – Revista Brasileira de Ensino de Física, - COSTA JR *et al*, 2011. (Sociedade Brasileira de Física Website: www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/332302.pdf).

Quanto a baixa faixa de frequência das ondas de Alfvén, pode-se dizer que elas se concentram, em geral, em menos de 1Hertz. O vento solar, por exemplo, apresenta tais ondas com uma faixa de espectro concentrada de 0,1Hz à 0,0001Hz. Não se pode deixar de mencionar também o enorme impacto dos estudos destas ondas para o mundo. Como exemplo, pode-se citar o uso da MHD em processos industriais de fluidos, o estudo destas ondas com suas relações com terremotos, o recente entendimento de porque o sol é milhões de graus mais “quente” longe de sua superfície, o transporte de energia pelo espaço como a sua relação com o vento solar, a importância para o estudo de ondas-rádio, efeitos na magnetosfera etc. Enfim, esta descoberta permitiu (e permite) uma melhor compreensão de diversos fenômenos grande parte dos quais ainda são desconhecidos ou parcialmente compreendidos. Dentre esses se tem, de forma específica, a radiação eletromagnética no ambiente construído. [2] [12]

IV. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Nos dias atuais, as radiações eletromagnéticas presentes no ambiente construído são emitidas por diversos aparelhos configurados em diversas frequências até mesmo em um mesmo equipamento. De maneira simultânea, é imperativo

ponderar que a razão de equipamentos por pessoa começa e raramente é menor do que em “1” (um). Tanto que, considerando os equipamentos fixos em uma edificação pode-se citar, a título de exemplificação: (1) Aparelhos de telefone sem fio, muitas vezes com diversos ramais; (2) Roteadores de conexão entre computadores através de Wi-Fi e seus repetidores; (3) Controles remotos (bem como transmissões entre os dispositivos) de diversos equipamentos: televisores, de som, home theater, ar-condicionado, aquecedores, portões, janelas, alarmes, travas, luzes, irrigação, sensores, etc. (quando automáticos); (4) Computadores e equipamentos dotados de computação e transmissão espalhados nas instalações como sensores, automatizadores, microcontroladores, impressoras, scanners, multifuncionais, câmeras sem fio. Ainda há de se citar dentre os emissores aqueles classificados como pessoais: (1) Aparelhos de Celular, ou seja, Smartphones; (2) Tablete, ou Tablet; (3) Notebooks, i. e., Laptops; (4) Câmeras. Ao considerarmos a quantidade de produtos dotados de sistemas rádio a que os indivíduos estão submetidos dentro de estruturas presentes em ambientes urbanos o desenvolvimento de mecanismos de avaliação e mitigação desta radiação ganha proeminência. Sendo assim, a seguir explana-se uma proposta para realizar esta tarefa. [8] [11] [17] [18]

V. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO E MITIGAÇÃO

Com o objetivo de medir e atenuar a radiação dos sinais rádio, aliado aos conceitos de eletrodinâmica expostos, criou-se um experimento de bancada. O objetivo foi verificar se utilizando faixas (espelhos) de água como barreiras físicas, isto poderia atenuar a radiação. Para isso, diferentes espessuras de água foram analisadas, posicionando transmissor e receptor em visada montando uma rede de sensores sem fio [18].

1. Materiais e Métodos

No desenvolvimento deste projeto foram utilizados dois módulos, multiprogramáveis da plataforma Rádium. São módulos de comunicação sem fio, denominados BE900, exemplificado na figura 5, (Frequência de Operação: 902-907,5MHz e 915- 928MHz. Modulação 2FSK (Configurável), Tecnologia: Modulação: Digital, Taxa de dados do RF: Até 250kbps, Potência de TX : Até +10dBm, Sensibilidade RX: Até -112dBm (com ~1% de PER), Alcance Indoor: Até 100m, Alcance Outdoor: Até 500m) que possuem transceptor e microcontrolador. Pontua-se também que estes módulos foram acoplados a placas DK101 para fins de alimentação. Também foi utilizado um computador (notebook): Dell Ultrabook, 64 bits, 4GB, Intel Core i5-337U 1.8GHz, Sistema Operacional - Windows 8, conectado via cabo USB à um dos BE900 para programar e controlar esses módulos.

Informa-se que a plataforma Rádium emprega o ambiente de programação do Arduino com linguagem Python. Desenvolveu-se um software para enviar e receber pacotes em determinados intervalos de tempo, medindo-se a intensidade do sinal em dBm(decibel-milliwatts) através da RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) de uplink(envio) e

downlink(recebimento). Ainda, foram utilizados três recipientes plásticos, acoplados através de parafusos de aço e água. A Figura 4 ilustra o módulo BE900 de comunicação sem fio empregado neste trabalho.



Figura 4: BE900 Módulo de comunicação sem fio.

Fonte: Reproduzido de: BE900 Módulo de comunicação sem fio - DATASHEET – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS. Ráioit Eletrônica, 2015. (Website: <http://radioit.com.br/wp-content/uploads/2015/06/BE900-Datasheet-v1.5.pdf>)

2. Esquemático

A figura 5 apresenta o esquema montado com as medidas entre os referidos módulos que estão representados pelas letras B e S. Um dos módulos está centralizado no meio do recipiente envolto por água (e por outro recipiente) e o outro está posicionado do lado externo à 60cm, ambos BE900 estão à mesma altura de 10cm da superfície. Há também um terceiro recipiente com água posicionado na parte superior. Já na figura 6 têm-se os diferentes posicionamentos em que se variou a espessura da lâmina de água. As demais figuras presentes neste item representam fotos tiradas do layout dos diferentes testes realizados. A figura 7 apresenta a fotografia dos testes de calibração realizados sem barreiras. Enquanto as figuras 8 e 9 são as imagens dos recipientes envolvendo o módulo BE900 representado por S nas demais descrições.

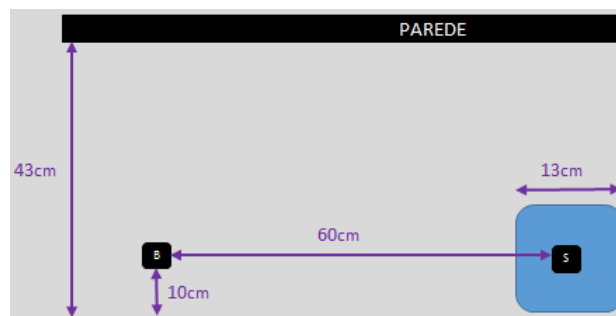


Figura 5: Ilustração esquemática geral das distâncias presentes nos testes.

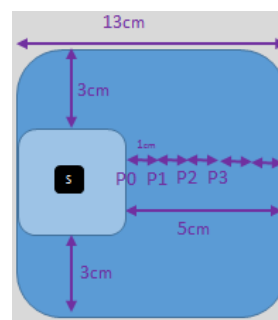


Figura 6: I Ilustração esquemática dos recipientes envolvendo o módulo S, demonstrando as diferentes espessuras de lâminas de água.

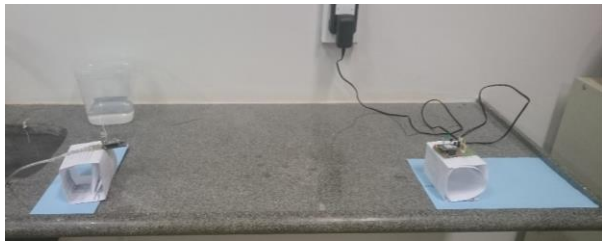


Figura 7: Fotografia dos testes de calibração realizados sem barreiras.



Figura 8: Fotografia lateral dos recipientes envolvendo o módulo BE900 representado por S nas demais descrições.



Figura 9: Fotografia superior dos recipientes envolvendo o módulo BE900 representado por S nas demais descrições.

VI. RESULTADOS

Os resultados obtidos através das medições de diferentes configurações de lâminas d'água estão expostos pelos gráficos e tabelas a seguir. Nestes, é mostrada a variação da intensidade do sinal, e por consequência, da radiação eletromagnética dispersada no ambiente.

A figura 10 apresenta a tabela com as descrições das posições mostradas na figura 5. Tais posições estão referenciadas nos gráficos das figuras 11 e 12 com medições de RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) de Downlink e RSSI de Uplink, respectivamente.

P0cPS = Posição 0 (0 cm) com Parte Superior	P0 = Posição 0 (0cm)	P2 = Posição 2 (2cm)
SEA = Sem Espelho d'água	P1 = Posição 1 (1cm)	P3 = Posição 3 (3cm)

Figura 10: Tabela com as descrições das posições de cada setup de testes.

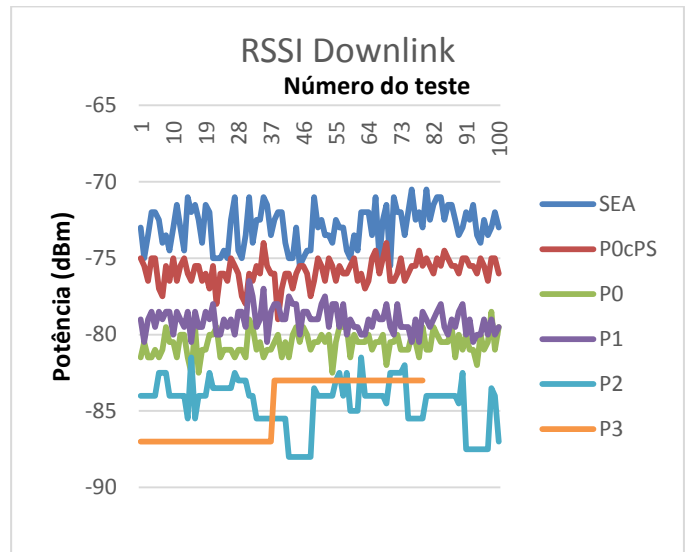


Figura 11: Gráfico de RSSI de Downlink.

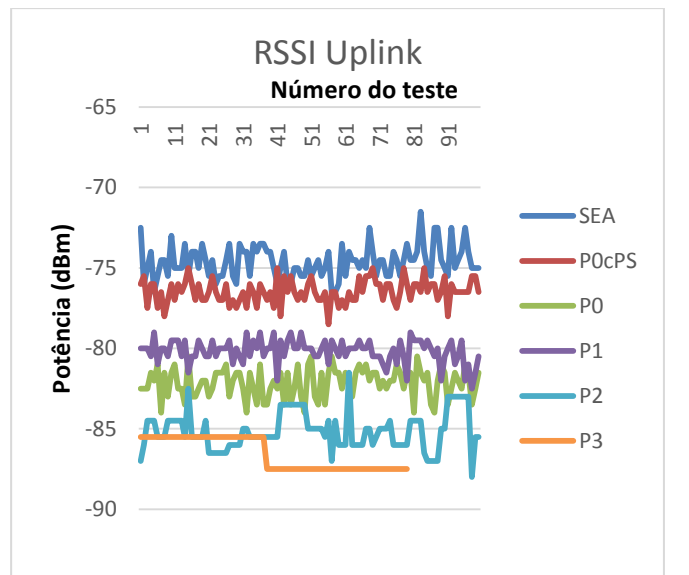


Figura 12: Gráfico de RSSI DE Uplink.

Calculando-se as médias, foi possível obter o comparativo presente na tabela da figura 13 e em seguida graficamente pela figura 14.

Médias	RSSI de Downlink (dBm)	RSSI de Uplink (dBm)
SEA	-72,9	-74,6
P0cPS	-75,8	-76,5
P0	-80,6	-82,1
P1	-79,0	-80,2
P2	-84,5	-85,1
P3	-84,9	-86,6

Figura 13: Tabela com as descrições das posições de cada setup de testes.

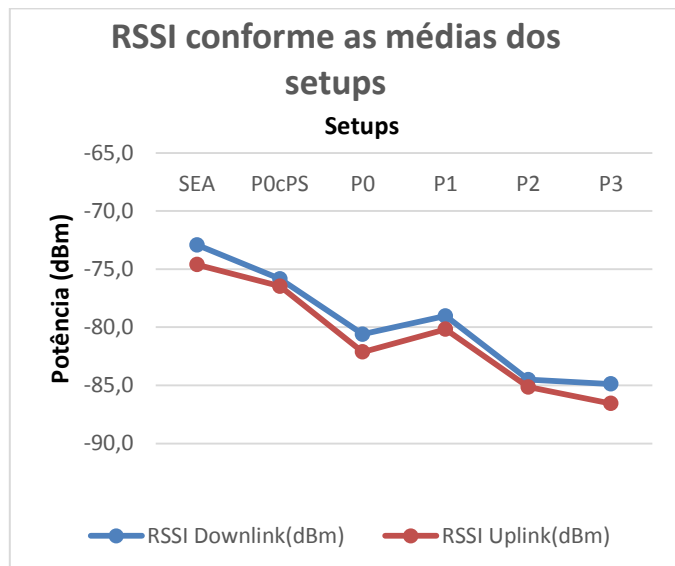


Figura 14: Gráfico de RSSI conforme as medidas médias dos setups.

Os dados obtidos mostraram que os efeitos do posicionamento de uma barreira de lâmina de água atenua o sinal de forma eficaz. E esta mitigação tem um aumento expressivo de acordo com o crescimento da espessura desta lâmina. Em especial, considerando-se que os dados medidos estão em dBm que é uma escala exponencial, logarítmica. Isto é, uma pequena alteração nestes números, significa grande diferença de potência de intensidade de sinal de rádio dissipada no ambiente.

Sendo assim, é recomendável que estudos neste sentido se aprofundem. Isto é, compreender as questões da eletrodinâmica e conduzir testes exaustivos acerca desse tipo de abordagem para realizar avaliação e mitigação.

VII. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este artigo visou demonstrar a importância do entendimento da eletrodinâmica, especificamente eletromagnetismo, física de plasmas e MHD. Através destes conceitos, compreende-se a questão da radiação eletromagnética. E, dado o panorama atual crescente de sinais desta natureza em ambientes construídos dentro do contexto de infraestrutura urbana, a preocupação com o bem estar das pessoas necessita de atenção. Neste trabalho, foi possível compreender esta questão e acompanhar a descrição de uma proposta desenvolvida para mitigar a intensidade de tais sinais. Através de uma prototipação, foi possível indicar uma maneira exequível de atender tal objetivo.

RECONHECIMENTO

Os autores deste trabalho agradecem o apoio através de bolsas de estudo e laboratórios das instituições: Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) e Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

REFERÊNCIAS

[1] ALFVÉN, 1942. Existence of Electromagnetic-Hydrodynamic Waves. Nature 150, 405-406 - Hannes Olof Gosta Alfvén. Disponível em:

<<http://www.nature.com/physics/looking-back/alfven/index.html>>.

Acessado em: 01-Dez-2015.

- [2] CBPF, 2006. Quasi-Neutralidade e Oscilações de Plasma & Blindagem de Debye - CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS. Disponível em: <http://mesonpi.cat.cbpf.br/e2006/graduacao/pdf_g1/EscolaCBPF_2.pdf>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [3] CHÁVEZ, 2001. DINÂMICA CAÓTICA DE ONDAS DE ALFVÉN NO VENTO SOLAR: Tese de Doutorado - Félix Aldo Borotto Chávez - INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em: <mtc-m05.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/2001/08.03.12.../Tese.pdf>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [4] COSTA JR et al, 2011. Ondas de Alfvén no meio interplanetário: Revista Brasileira de Ensino de Física - v. 33, n. 2, 2302 - E. Costa Jr., F.R. Cardoso, F.J.R. Simões Jr. e M.V. Alves - Sociedade Brasileira de Física. Disponível em: <www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/332302.pdf>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [5] de Salles, Augusto A. "Efeitos Biológicos dos Telefones Celulares Portáteis." Journal of Communication and Information Systems 11.1 (2015).
- [6] Estécio, Marcos Roberto Higino, and Ana Elizabete Silva. "Alterações cromossômicas causadas pela radiação dos monitores de vídeo de computadores." Revista de Saúde Pública 36.3 (2002): 330-336.
- [7] HUTCHINSON, 2001. Introduction to Plasma Physics - MIT - Massachusetts Institute of Technology - Ian Hutchinson. Disponível em: <<http://silas.psfc.mit.edu/introplasma/>>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [8] IDC Brasil, 2015. "Pesquisa da IDC revela que o mercado de rede sem fio ficou estável no primeiro trimestre de 2015". Disponível em: <<http://br.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1905>>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [9] Marchesan, Ana Maria Moreira. "As estações de rádio-base de telefonia celular no contexto de uma sociedade de riscos." POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA (2005).
- [10] Martins, Naiara Chirlei Ferreira, et al. "DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NO CENTRO UNIVERSITÁRIO METODISTA IZABELA HENDRIX DOI: <http://dx.doi.org/10.15601/2359-5302/ptr.v1n1p168-182>." Revista Petra 1.1 (2015).
- [11] Navarro, Marcus Vinicius Teixeira. "et al. Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica. História, Ciências, Saúde-Manguinhos, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4." (2008).
- [12] OCHI, 1997. Oscilações MHD Ideal em Tubos de Fluxo Magnético com Variação Radial; Aplicações em Física Solar: Tese de Doutorado - MÁRCIA MIDORI OCHI - UNICAMP - Instituto de Física. Disponível em: <<http://webbif.ifi.unicamp.br/tesesOnline/teses/IF1074.pdf>>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [13] PILLACA, 2007. ESTUDO DO CONFINAMENTO MAGNÉTICO DE PLASMA DURANTE O PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO IÔNICA POR IMERSÃO EM PLASMA: Dissertação de Mestrado - ELVER JUAN DE DIOS MITMA PILLACA - UNESP - Universidade Estadual Paulista - Escola de Física. Disponível em: <www.feg.unesp.br/pos-graduacao/...pos.../pillaca_ejdm_me_guara.pdf>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [14] SANTOS, 2009. Estudo de Sistemas Atômicos Confinados Usando o Potencial de Yukawa: Dissertação de Mestrado - Leandro Cerqueira Santos - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - INSTITUTO DE FÍSICA. Disponível em: <<http://www.pgif.ufba.br/dissert/Textos/Leandro-Cerqueira.pdf>>. Acessado em: 01-Dez-2015..
- [15] SILVA, 2010. Formas Discretas da Equação de Boltzmann para a Magnetohidrodinâmica: Tese de Doutorado - EDUARDO DE CARLI DA SILVA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: <<http://www.lmpt.ufsc.br/download.php?campo=arquivo&tabela...id=130%E2%80%8E>>. Acessado em: 01-Dez-2015.
- [16] Souza Filho, Agostinho Linhares de. "Contribuições ao estudo da exposição humana a campos eletromagnéticos na faixa de radiofrequências." (2015).
- [17] TANENBAUM & WETHERALL; 2010. Computer Networks 5th Edition. New Jersey, United States of America. Publisher: Prentice Hall. 960p. ISBN: 0132126958, 978-0132126953.
- [18] Yano, I., Oliveira, V., Becker, M., Corrêa, A.; 2015. APPLYING A HYBRID POLLING APPROACH BY SOFTWARE IMPLEMENTATION TO EXTEND THE LIFETIME OF A WIRELESS SENSOR NETWORK. Journal of Computer Science. ISSN: 1549-3636. Vol. 11, Issue 4, p. 699-706. DOI: 10.3844/jcssp.2015.699.706.

Cite this article:

Oliveira, Vitor C., Tozzo, Rafael G., Branquinho, Omar C., Mota, Alexandre A., Mota, Lia T. M.; 2015. Ramificações da física de plasmas para avaliação de radiação eletromagnética no ambiente construído. SET Yearbook Media & Entertainment. ISSN Print: 2447-3235 ISSN Online: 2447-3243. doi: 10.18580/setyearbook.2015.1.1 Web Link: <http://dx.doi.org/10.18580/setyearbook.2015.1.1>