

3.04.02 - Engenharia Elétrica / Medidas Elétricas, Magnéticas e Eletrônicas, Instrumentação

## **SENSOR ELETRÔNICO DE CORRENTE PARA MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA UTILIZANDO SOLENÓIDES CONCÊNTRICOS**

Luiza H. S. Santos<sup>1\*</sup>, Lia T. M. Mota<sup>2</sup>

1. Estudante de IC da Fac. de Engenharia Elétrica da PUC-Campinas

2. Pesquisadora da Faculdade de Engenharia Elétrica da PUC-Campinas/Orientadora

### **Resumo:**

Atualmente, devido à maior preocupação com a sustentabilidade, eficiência energética em edificações tornou-se um assunto recorrente. Por causa do crescente aumento da utilização de energia elétrica, existe a necessidade de métodos eficazes, de baixo custo e não destrutivos de medição do consumo de energia, visando melhoras na eficiência energética nessas edificações. Utilizando conceitos de indução eletromagnética, este projeto de iniciação científica propõe o desenvolvimento, montagem e calibração de um sensor eletrônico para monitoramento de corrente em instalações de baixa tensão, utilizando solenoides concêntricos. Testando solenoides de diferentes geometrias e núcleos, pretende-se chegar ao melhor modelo de sensor, no que diz respeito à eficiência na medição e baixo custo de montagem, aplicação e manutenção. Posteriormente, este sensor pode ser utilizado para determinação do consumo de energia elétrica em edificações.

**Palavras-chave:** Sensor de corrente, medição do consumo de energia, edificações.

**Apoio financeiro:** CNPq - PIBIC

**Trabalho selecionado para a JNIC pela instituição:** PUC-Campinas.

### **Introdução:**

Há mais de quarenta anos, convenções internacionais já se preocupavam com a falta de alguns recursos naturais, primeiramente, no que dizia respeito ao aquecimento global e desenvolvimento sustentável [1]. Existem certificações de edificações baseadas nesses conceitos que visam melhor aproveitamento de recursos [2]. Em edificações, um dos recursos que pode ser melhor aproveitado é a energia elétrica. “Eficiência Energética” nada mais é do que utilizar a energia elétrica de forma consciente e moderada. No cotidiano do brasileiro, é notável o aumento no consumo de energia e as dificuldades que a matriz energética do país tem para suprir a demanda exigida pelo consumidor [3].

Uma das certificações ambientais para edificações utilizadas no Brasil é a certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental), baseada na certificação francesa Haute Qualité Environnementale (HQE) [2]. Outra certificação adotada amplamente no Brasil é o Projeto de Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED – Leadership in Energy and Environmental Design), desenvolvido nos Estados Unidos [2].

Por meio das propostas de cada uma das certificações, é possível constatar que enquanto o LEED foca liderança em sustentabilidade energética, o AQUA traz uma primeira tratativa de conforto humano voltado às emissões de campos eletromagnéticos. Mas, pensando-se nas características de ambas as certificações, é evidente a necessidade de monitorar campos eletromagnéticos a fim de melhorar o conforto ambiental e, se possível, a eficiência energética da edificação.

Para tanto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um método de monitoramento da energia em edificações através de um sensor eletrônico de corrente baseado no conceito de indução eletromagnética [4], possibilitando, dessa maneira, a medição do consumo de energia de forma não destrutiva (sem necessidade de reformas para a instalação do sensor). Sabendo que um fio que conduz corrente elétrica é envolvido por um campo eletromagnético, o sensor a ser desenvolvido visa captar esta indução num indutor

(solenóide) e ser capaz de estabelecer uma relação entre a energia utilizada e a energia induzida. Ao estudar esse sensor, pretendeu-se analisar o comportamento da utilização da energia e a elaboração de métodos visando a eficiência energética de edificações.

### Metodologia:

A relação entre a medição de corrente para obtenção da energia é comprovada pelas equações (1) e (2).

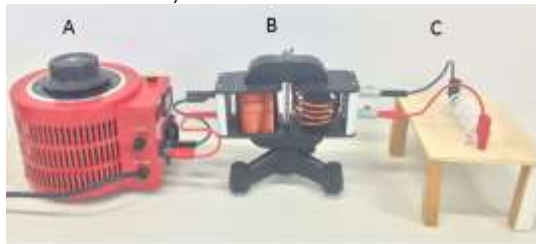
$$P=V.I \quad (1)$$

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt \quad (2)$$

A potência enviada pelo circuito “P” é dada em Watts, a tensão “V” em Volts, a corrente “I” em Ampères e a Energia “E” é dada pela integral da potência em relação ao tempo “t” em horas. Numa edificação, a tensão já é conhecida (tensão nominal do circuito) e a potência pode, então, ser determinada a partir da medição da corrente.

O sensor de corrente proposto é fundamentado em solenóides concêntricos nos quais foram utilizados núcleos de ar e de ferrite. A principal diferença entre os dois núcleos diz respeito à frequência: ferrite é utilizado para frequências mais baixas e ar, radiofrequências. Pensando num método não destrutivo, têm-se o núcleo de ar como melhor opção, considerando que as medições sejam realizadas sem necessidade de reforma na edificação (sem corte físico do circuito) [4]. A bancada utilizada nos testes encontra-se ilustrada na figura a seguir.

Figura 1- Protótipo Inicial: A- VARIAC, B: Transformador, C- Indutor



O VARIAC é um equipamento regulador de tensão AC que varia entre 0 e 250V, o transformador abaixador de tensão de relação 800:5. O indutor foi utilizado neste protótipo inicial para gerar um campo eletromagnético em volta dele [6].

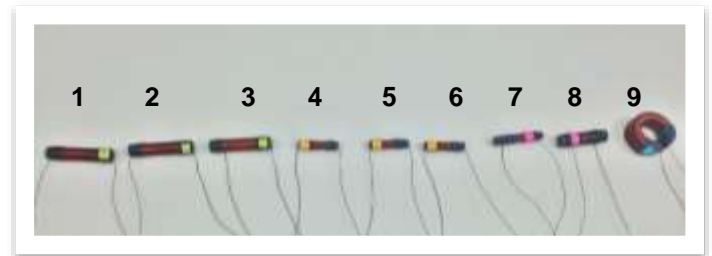
Para o sensor com núcleo de ar, os testes foram realizados com as bobinas primárias e secundárias possuindo características análogas: mesmo raio, comprimento, número de espiras e centro, conforme Figura 2. A corrente elétrica do circuito flui na bobina primária do transformador (If) e induz, através de um campo eletromagnético, uma corrente na bobina secundária. Matematicamente, existe uma relação entre essas duas correntes [4].

Figura 2- Solenóides concêntricos com núcleo de ar. Respectivamente sensores com bitola de 6,0; 4,0 e 2,5mm<sup>2</sup>



Foram montados solenóides concêntricos com núcleo de ar de 5, 10 e 15 espiras tendo distância de 1cm entre si e foram variadas as bitolas dos fios: 2,5, 4,0 e 6,0mm<sup>2</sup>. No modelo utilizado [5], o diâmetro das espiras era de 2,0cm e, na pesquisa atual, foi de 4,0cm. Além destes, foram montados também os solenóides com núcleo de ferrite (Figura 3).

Figura 3- Solenóides concêntricos com núcleo de ferrite



Foram utilizados ferrites com diferentes dimensões e quantidades de espiras que foram etiquetados e numerados de acordo com suas características, conforme mostrado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Ferrites (1-Número, 2-Diâmetro, 3-Comprimento ou profundidade, 4-Volume, 5-Espiras, 6- Interno, 7-Externo).

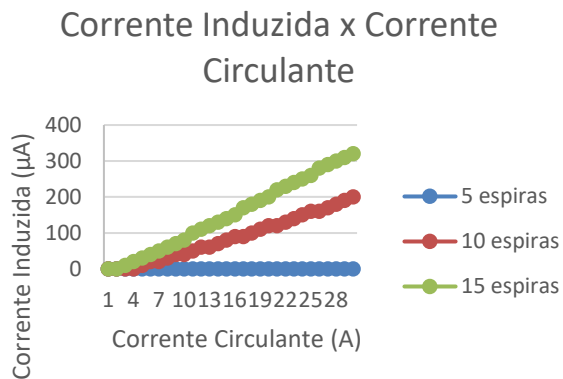
N <sup>o</sup> 1	D <sup>2</sup> (cm)	C ou P <sup>3</sup> (cm)	V <sup>4</sup> (cm <sup>3</sup> )	E <sup>5</sup>
1 a 3	1,0	5,0	3,93	75
4 a 6	0,6	3,0	0,85	40
7	0,6	4,0	1,13	50
8	1,0	4,0	3,14	50
9	In <sup>6</sup> =2,2 Ex <sup>7</sup> =3,5	1,6	9,31	100

As medições foram realizadas mantendo o protótipo utilizado no modelo [5] nos testes do sensor com núcleo de ar e com núcleo de ferrite [6].

### Resultados e Discussão:

Os resultados obtidos para o ensaio com núcleo de ar e bitola 2,5mm<sup>2</sup>, que foram os melhores resultados obtidos em [5], estão representados no gráfico a seguir.

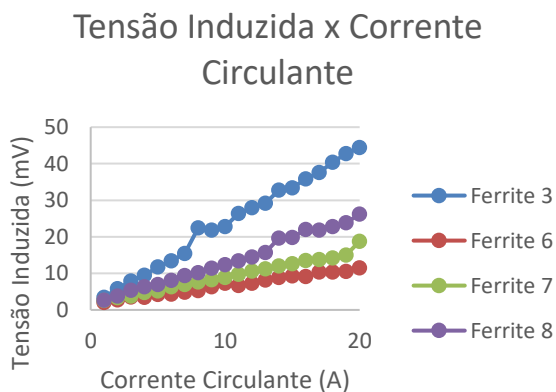
Gráfico 1 – Resultados obtidos para Solenóides com núcleo de ar – fio de bitola 2,5mm<sup>2</sup>.



O resultado para 15 espiras, apesar de parecer promissor, foi inferior ao resultado do modelo [5], devido ao aumento do raio. Diminuindo para 10 espiras, a linearidade da relação fica ligeiramente mais comprometida, tendo variações mais acentuadas. Para cinco espiras, já não foi possível captar com o multímetro uma corrente induzida. Levando em conta que ainda seria necessário um estágio de amplificação e filtragem para aumentar e detectar um sinal de tensão de 0 a 3V, foi determinada a inviabilização deste sensor. Sendo assim, os testes com núcleo de ferrite foram iniciados.

O gráfico a seguir ilustra os resultados de tensão induzida x corrente circulante para os sensores com núcleo de ferrite.

Gráfico 2 – Resultados Solenóides com núcleo de Ferrite



Foram utilizados os ferrites 3, 6, 7 e 8, sendo que os quatro apresentaram relação linear entre a tensão induzida e a corrente circulante. Para o ferrite, foi medida a tensão induzida, pois a ponteira do osciloscópio media apenas tensão.

### Conclusões:

Levando em consideração as certificações e a necessidade de monitoramento dos campos eletromagnéticos nas edificações visando a determinação do consumo de energia, foi

obtido um sensor medidor de corrente com este objetivo. Encontrando uma relação linear entre a corrente circulante e a corrente/tensão induzida no sensor, foi possível determinar seu funcionamento.

A eficiência desse tipo de sensor medidor de corrente utilizando solenoides concêntricos com núcleo de ar é muito baixa, e por isso, os estudos não foram levados adiante. Apesar de mais barato, a montagem de um sensor a partir dessa geometria seria pouco proveitosa justamente pelos resultados ruins obtidos na corrente induzida. Porém, os solenoides com núcleo de ferrite comportaram-se de maneira melhor e com resultados satisfatórios, apesar do maior custo. Sabendo que o ferrite possui propriedades eletromagnéticas, a melhoria nos resultados obtidos não é inconsistente e indica um método mais coerente de construção e utilização deste solenoide como sensor.

Além disso, ao classificar os ferrites de acordo com a tensão induzida máxima de maneira crescente têm-se: Ferrite 3 > Ferrite 8 > Ferrite 7 > Ferrite 6. Esta sequência também pode ser aplicada às massas e volumes dos ferrites, demonstrando que quanto maior o núcleo, maior será o resultado obtido pelo sensor. Ao analisar os Ferrites 7 e 8, ambos com 50 espiras, é possível determinar que quanto maior o volume de ferrite no núcleo, melhor o resultado obtido para tensão induzida no sensor.

### Referências bibliográficas

[1] DIAS, R. “**Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**”. Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade. Atlas, 2011.

[2] PUGLIERO, V. S. ; COIADO, L. C. ; PIMENTEL, L. L. ; JACINTHO, A. E. P. G. A. ; MOTA, L. T. M. ; MOTA, A. A. . “**Overview of Certification Methodologies for Sustainable Constructions of Brazilian Buildings**”. American Journal of Applied Sciences, v. 12, p. 216, 2015.

[3] CARNEIRO, Manasses Guimarães; CERQUEIRA, Bruno Dantas. “**Participação Da Geração Eólica Em Leilões De Energia E Sua Contribuição Em Tempos De Crise Energética**”. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 5, n. 1, 2016.

[4] MOTA, L. T. M.; MOTA, A. A.; COIADO, L. C. “**Non-Destructive Current Sensing for Energy Efficiency Monitoring in Buildings with Environmental Certification**”. Sensors v. 15, n. 7, p. 16740-16762, 2015.

[5] COIADO, L. C. **“Análise de campos eletromagnéticos em edificações urbanas”**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2015.

[6] ZACARIOTTO, W. A.; COIADO, L. C. ; MOTA, L. T. M. ; MOTA, A. A. . **“Desenvolvimento de Antena Receptora de Baixa Frequência”**. In: Brazilian Technology Symposium - BTSym'15, 2015, Campinas. Brazilian Technology Symposium - BTSym'15, 2015.