

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO - GDI

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SENSOR / ATUADOR EM CAMPOS MAGNÉTICOS DE ALTA INTENSIDADE PARA COMBATE ÀS PERDAS NÃO TÉCNICAS

DANIEL FERRER BERQUÓ(1); JOSÉ EDUARDO DA ROCHA ALVES JUNIOR(1); LUIZ CARLOS GRILLO DE BRITO(1); CESAR JORGE BANDIM(1); LUIZ FERNANDO PEREIRA BARROS(1)
CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA CEPEL(1)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de solução, desenvolvida pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), no sentido de monitorar, detectar, identificar, registrar e informar, com materialidade permanente, de modo equivalente a um dispositivo de selamento/lacre, que campos magnéticos de alta intensidade foram aplicados nas proximidades dos medidores de energia elétrica, para subfaturar o consumo real da unidade consumidora. Adicionalmente, esta solução pode também incorporar a funcionalidade de suspensão imediata do fornecimento de energia elétrica, inibindo ações fraudulentas. Cabe ressaltar que todo este desenvolvimento já foi motivo de solicitação de patente [1].

PALAVRAS-CHAVE

Perdas não técnicas, ímãs, medidor de energia elétrica, combate às perdas

1.0 INTRODUÇÃO

As fraudes e furtos de energia elétrica continuam sendo um problema recorrente em diversos países, causando prejuízos, a nível mundial, da ordem de bilhões de dólares anualmente. No Brasil, em 2019, tais prejuízos foram da ordem de R\$7,4 bilhões segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Nos anos mais recentes têm sido constatadas novas formas de reduzir de forma fraudulenta o registro do consumo de energia elétrica feito pelos medidores de energia elétrica. Um desses artifícios faz uso de artefatos que utilizam ímãs de neodímio. Equipes das distribuidoras começaram a descobrir fraudes produzidas por aplicação de campos magnéticos intensos, produzidos por estes ímãs, que produzem redução substancial do registro do consumo real das unidades consumidoras. Esse tipo de irregularidade vem se tornando popular em razão da simplicidade de execução, baixo custo de implementação e dificuldade de flagrante. Além disso, possui ação momentânea e na maioria das situações não deixa vestígios físicos de sua aplicação.

Em ensaios realizados no CEPEL [2], foi utilizado um artefato que continha ímãs de neodímio, obtido por uma concessionária em inspeção de unidades consumidoras com irregularidades. O campo magnético CC deste objeto atingiu valores da ordem de 0,5 tesla (T), impondo uma redução na medição de energia elétrica da ordem de 90 %, e por consequência produzindo subfaturamento da energia efetivamente consumida. A título de comparação, a norma NBR 14520:2011 [3], da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) atual determina, para ensaio, a aplicação de um campo magnético no valor de 0,5 mT, mil vezes inferior, portanto, ao valor atingido pelos ímãs de neodímio utilizados. Os medidores utilizados atualmente não possuem, portanto, garantia de imunidade à interferência a campos magnéticos de alta intensidade, nem os ensaios normatizados incluem procedimentos com níveis elevados de indução magnética CC como os produzidos por ímãs de neodímio.

A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados consolidados dos efeitos desses ímãs em medidores eletrônicos polifásicos de energia elétrica de diferentes fabricantes [2]. Para fins de comparação e simplificação, são indicados os resultados na condição de carga equilibrada, tendo sido realizados também ensaios com carga monofásica, por elemento.

Os ensaios foram realizados em condições distintas:

- Sem a presença do artefato;
- Durante o posicionamento do artefato o mais próximo possível do medidor;
- Após a retirada da influência do referido campo magnético de alta intensidade.

Cabe observar que, após a retirada do ímã, os medidores que reduziram os registros de consumo na presença do ímã, retornaram à condição normal de desempenho no quesito de exatidão.

Tabela 1 - Ensaio dos Medidores Polifásicos Eletrônicos

FABRICANTE/ MODELO	Corrente (A)	Fator de Potência	ERRO (%) ANTES DE APLICAR O IMÃ	ERRO (%) COM IMÃ	ERRO (%) APÓS RETIRAR O IMÃ	TIPO DE MOSTRADOR
1	15	1,0	0,0	-64,5	0,0	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,5	-39,4	+0,5	
	1,5	1,0	-0,1	-64,6	-0,1	
2	15	1,0	0,0	-98,8	0,0	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,6	-81,3	+0,5	
	1,5	1,0	0,0	-98,7	0,0	
3	15	1,0	-0,3	-0,9	-0,4	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,4	-0,5	+0,1	
	1,5	1,0	-0,3	-1,2	-0,5	
4	15	1,0	0,0	-97,4	0,0	Digital
	15	0,50 indutivo	-0,7	-73,1	+0,7	
	1,5	1,0	-0,2	-97,5	+0,1	

A Tabela 2 a seguir apresenta os resultados consolidados dos efeitos desses ímãs em medidores monofásicos eletromecânicos SEM e COM a aplicação dos ímãs de neodímio, de acordo com os posicionamentos propostos. Foram escolhidas duas posições mais próximas do medidor nas quais se verificou a maior influência do campo magnético. Os resultados indicaram também a incapacidade do medidor eletromecânico de suportar a aplicação do campo magnético CC de alta intensidade.

Tabela 2 - Ensaio em Medidor Monofásico Eletromecânico

Corrente (A)	Fator de Potência	Erro (%) antes de aplicar o ímã	Erro (%) com o ímã na primeira posição	Erro (%) após retirar o ímã	Erro (%) com o ímã na segunda posição	Erro (%) após retirar o ímã
15	1,0	+0,4 %	-30,0 %	+0,1 %	-27,3 %	+9,2 %
15	0,50 indutivo	+0,9 %	-43,8 %	+0,8 %	-33,8 %	+9,9 %
1,5	1,0	-0,2 %	-31,4 %	-1,2 %	-30,1 %	+7,4 %

A Tabela 3 a seguir apresenta os resultados consolidados dos efeitos desses ímãs em medidores eletrônicos monofásicos SEM e COM a aplicação dos ímãs de neodímio. Observa-se que todos os medidores passaram no ensaio de exatidão, porém isso se deve ao fato que o transdutor de corrente desse tipo de medidor ser um resistor shunt. Contudo o medidor número 3 não passou no ensaio do mostrador, pois o seu mecanismo ficou travado com o campo magnético do ímã.

Tabela 3 - Ensaio dos Medidores Monofásicos Eletrônicos

Fabricante/ modelo	Corrente (A)	Fator de potência	Erro (%) antes de aplicar o ímã	Erro (%) Com ímã	Erro (%) após aplicar o ímã	Mostrador
1	15	1,0	- 0,2	-0,2	-0,2	Ciclométrico
	15	0,50 indutivo	+0,2	+0,3	+0,3	
	1,5	1,0	-0,2	-0,2	-0,2	
2	15	1,0	-0,1	-0,1	-0,1	Digital
	15	0,50 indutivo	+0,6	+0,6	+0,7	
	1,5	1,0	-0,2	-0,2	-0,2	
3	15	1,0	+0,2	+0,2	-0,2	Ciclométrico
	15	0,50 indutivo	+1,1	+1,1	+1,0	
	1,5	1,0	+0,1	+0,1	+0,1	
4	15	1,0	+0,2	+0,2	+0,2	Digital

	15	0,50 indutivo	+0,7	+0,7	0,0	
	1,5	1,0	0,0	0,0	+0,1	

2.0 SOLUÇÕES COMERCIAIS EXISTENTES

Existem no mercado, atualmente, algumas soluções para a detecção e mitigação das tentativas de fraudes provocadas por ímãs de neodímio. No entanto, mesmo os medidores eletrônicos de energia elétrica monofásicos, que possuem resistores shunt como transdutores de corrente, também sofrem influência de campos magnéticos em outros de seus componentes, conforme detalhado no item 2.2 deste artigo. Quando se considera o parque instalado de medidores no Brasil, a grande maioria dos medidores, sejam eletromecânicos ou eletrônicos, atualmente instalados não possuem esse tipo de imunidade, sendo necessário algum meio para comprovar esse tipo de fraude.

Nas pesquisas realizadas acerca das propostas existentes no mercado e eventuais patentes concedidas verificou-se que soluções desse problema ainda são buscadas, nos anos recentes, em várias partes do mundo, indicando a necessidade do desenvolvimento de novos meios para inibir ações e irregularidades dessa natureza, que não deixa vestígios em sua aplicação.

2.1 ETIQUETAS PARA INDICAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO

Algumas empresas têm desenvolvido uma etiqueta que funciona como um lacre e um indicador de aproximação de campos magnéticos. Ela é formada por pequenos ímãs que repousam em um perfeito equilíbrio magnético sobre uma fina placa metálica. Quando submetidos a um determinado campo magnético de uma certa intensidade, é desfeito o equilíbrio magnético dos pequenos ímãs. Dessa forma, é indicado que houve uma aproximação de um campo magnético externo. Esse tipo de etiqueta é utilizado por companhias de água, gás e energia.

Uma desvantagem desse tipo de solução é a área de proteção que oferece no equipamento a ser utilizado. Em alguns medidores de energia os transdutores são posicionados na parte traseira. Dessa forma, se as etiquetas forem colocadas na parte frontal do medidor, elas não serão sensibilizadas. Se forem colocadas na parte traseira, pode se tornar difícil a verificação visual das etiquetas após a aproximação do ímã.



Figura 1 - Etiqueta para detectar campos magnéticos

2.2 USO DO RESISTOR SHUNT

Esta solução é aplicada usualmente em medidores eletrônicos monofásicos, já que os resistores shunt são imunes a campos magnéticos [4]. Apesar disso, esses medidores também podem registrar a menor sob efeito dos ímãs de

neodímio, no caso de mostradores ciclométricos. Em testes realizados nos laboratórios do Cepel, alguns medidores de energia elétrica monofásicos com mostrador ciclométricos foram influenciados pelo campo magnético proveniente de ímãs de neodímio. Cabe ressaltar que o resistor shunt não é utilizado em medidores eletromecânicos, que também sofrem os efeitos dos ímãs de neodímio e ainda fazem parte do parque instalado brasileiro em grande quantidade.

3.0 SENSOR/ATUADOR INTELIGENTE

O desenvolvimento desse dispositivo teve como base algumas premissas previamente estabelecidas:

- Marcação permanente e indelével da presença de campos magnéticos de alta intensidade, de tal modo que esta marcação seja inviolável, não podendo ser alterada;
- Identificação a aproximação de um campo magnético intenso, na tentativa de fraude, ainda que o mesmo não tenha efeito imediato no medidor, indicando para a concessionária potenciais fraudadores;
- Permitir a transferência, de forma local ou remota, de informações, referentes à identificação da aproximação de campos magnéticos de alta intensidade e, opcionalmente, do desligamento da unidade consumidora, motivado por essa aproximação.

Com base nessas premissas, o item mais desafiador foi a escolha do dispositivo para marcação permanente e indelével da presença de campos magnéticos de alta intensidade. E essa marcação ou sinalização tem que funcionar mesmo com o medidor deligado. Foi escolhido um mostrador do tipo *e-ink*, conhecido como papel eletrônico. Essa tecnologia mantém os dados gravados na tela, sem a necessidade de uma fonte de energia. Essa tecnologia é a mesma utilizada nos atuais leitores de livros comercializados. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** **Fonte de referência não encontrada.** tem-se um exemplo desse tipo de tela com a indicação de aproximação de um campo magnético de alta intensidade.

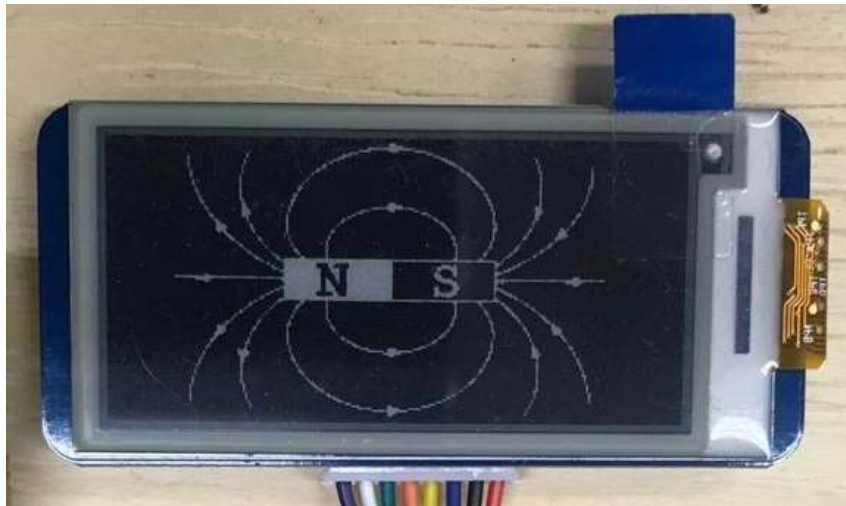


Figura 2 - Tela de *e-ink*

Os sensores utilizados para a detecção de campo magnético são do tipo efeito hall. Foram escolhidos sensores que pudessem abranger toda área da parte traseira do medidor de energia e sensíveis a campos de intensidade provenientes de ímãs de neodímio. Dessa forma não são sensíveis a campos magnéticos provenientes da instalação elétrica do medidor, não gerando falso positivo.

Os sensores e a tela de *e-ink* são conectados a uma unidade de controle e processamento (UCP) que gerencia os dados recebidos pelos sensores e realiza a escrita na tela. Há a previsão, mas não obrigatória, de mais dois componentes:

- Um sistema para suspensão do fornecimento de energia da unidade consumidora, tipo um relé de pulso;
- Um sistema de comunicação com a central de medição da empresa distribuidora de energia, de modo a permitir que a informação de aproximação de um campo magnético seja transmitida e se torne possível o flagrante desta situação. O centro de controle pode definir, então, qual decisão tomar nesta situação, pode realizar uma inspeção no local, desligar ou religar a unidade consumidora localmente ou qualquer outra ação, de acordo com seu critério ou procedimento comercial/regulatório.

Dessa forma o sensor/atuador inteligente é composto por um conjunto de sensores, tela de *e-ink*, sistema de comunicação e sistema de suspensão de fornecimento. Ele pode ser embarcado durante a manufatura do medidor

ou pode ser feito na forma de plug-in para medidores já existentes, conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

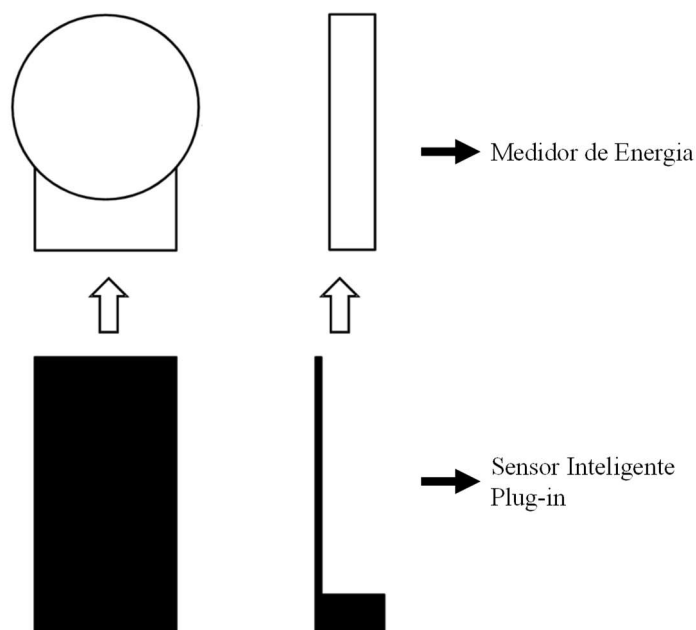


Figura 3 - Plug-in do sensor

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** tem-se o diagrama em bloco de todos os componentes do sensor inteligente

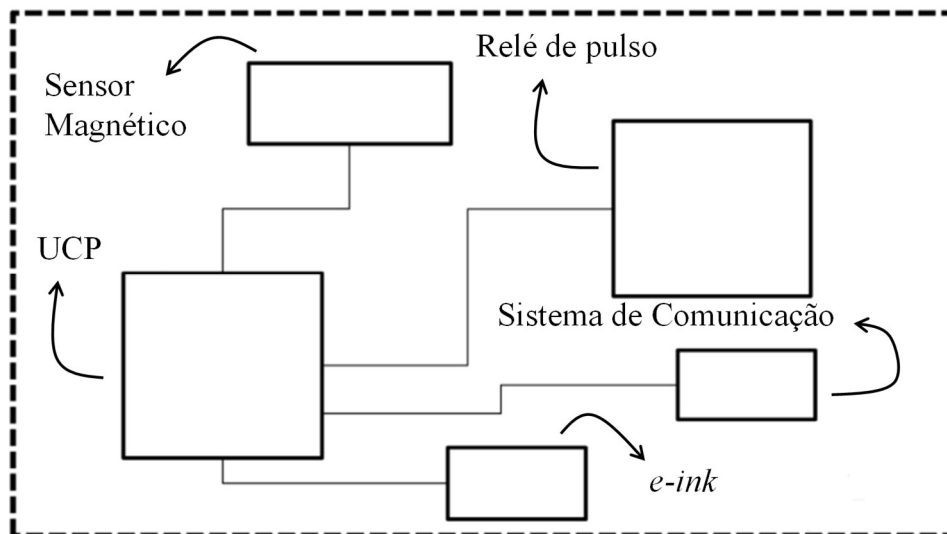


Figura 4 - Diagrama do Sensor Inteligente

Segue a descrição de cada componente do diagrama:

- UCP (Unidade Central de Processamento) é responsável por controlar todos os dispositivos do sensor inteligente;
- Sensor Magnético é o sensor responsável por detectar a presença do campo magnético dos ímãs de neodímio;
- Relé de pulso é responsável por realizar a suspensão do fornecimento de energia elétrica da unidade consumidora;
- Sistema de comunicação, responsável pela comunicação do sensor inteligente com a concessionária para informar a ocorrência de algum evento;

- E-ink é o elemento por exibir de forma permanente a informação, quando ocorra, da detecção do campo magnético.

Tanto o relé de pulso como o sistema de comunicação são itens opcionais do projeto.

Na Figura 5 tem-se o protótipo do sensor inteligente. Não estão contempladas nessas imagens o sistema de comunicação e o relé de pulso.

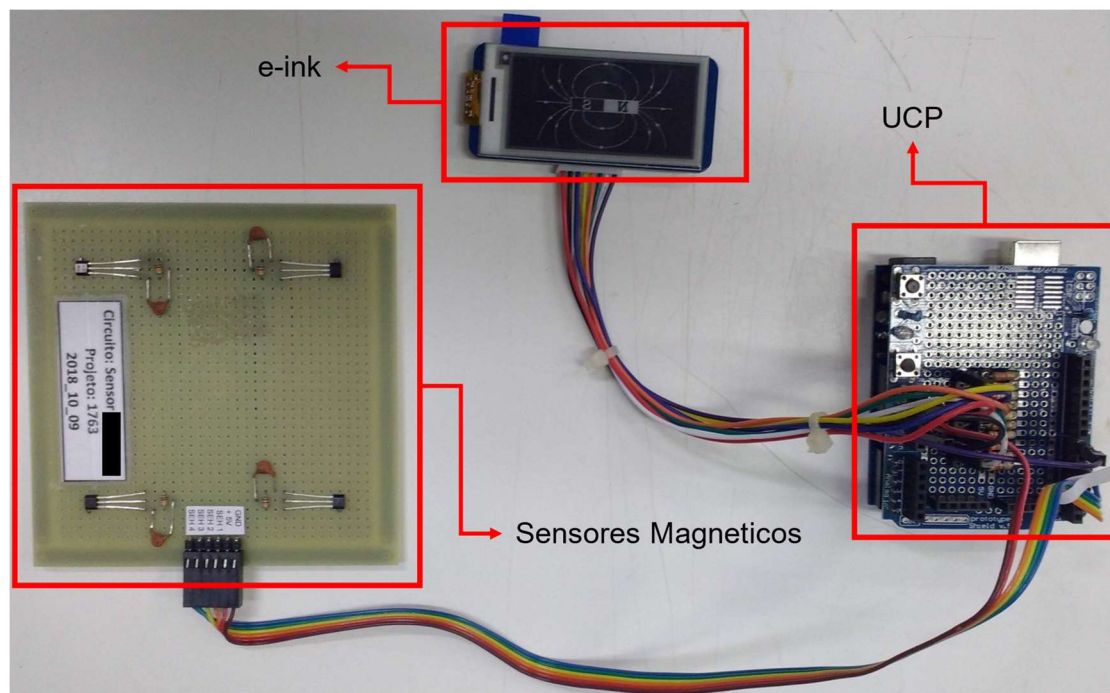


Figura 5 - Protótipo do Sensor Inteligente

Alguns testes preliminares, realizados em protótipo artesanal, foram realizados nos laboratórios do Cepel, e apresentaram resultados satisfatórios. Ímãs de neodímio foram aproximados do protótipo a distâncias mínimas e posições em que foi previamente verificado que os medidores poderiam ser influenciados. Medições do campo magnético produzido por esses ímãs em função da distância foram realizadas, conforme Figura 6. Por sua vez, o protótipo indicou de forma permanente, através do e-ink, a aproximação do ímã, demonstrando sua funcionalidade.

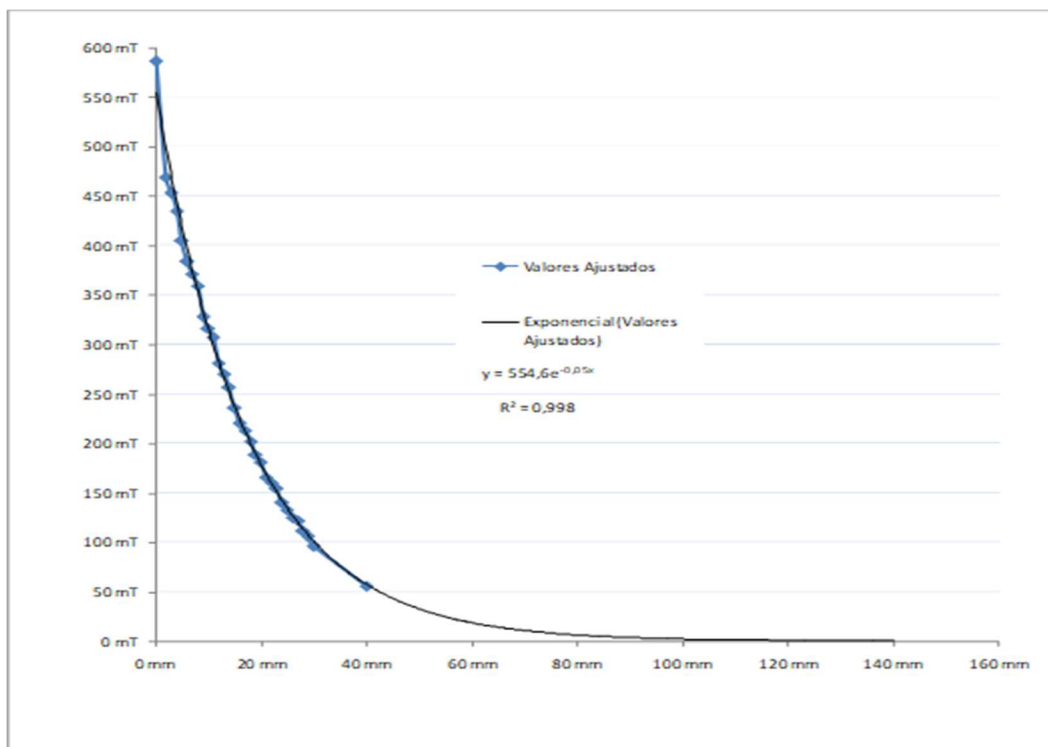


Figura 6 – Curva de campo magnético (mT) x Distância (mm)

4.0 CONCLUSÃO

As perdas não técnicas constituem-se em fontes de graves prejuízos para as concessionárias de energia e também para a sociedade em geral, uma vez que um de seus possíveis efeitos é o acréscimo no valor da tarifa paga pelo consumidor e redução dos impostos recebidos pelo poder público.

Uma das irregularidades cometidas contra os medidores de energia para faturamento, que vem se tornando popular em razão da simplicidade de execução, baixo custo de implementação e dificuldade de flagrante, é a aplicação de campos magnéticos CC de alta intensidade, normalmente produzidos por ímãs de neodímio, bem próximos ao medidor. Além disso esse tipo de irregularidade tem ação momentânea e na maioria das situações não deixa vestígios físicos de sua aplicação.

Este trabalho apresentou uma solução de sensor/atuador inteligente, cujo pedido de depósito de patente já foi realizado, capaz de detectar de maneira indelével a presença destes campos cc de alta intensidade nas proximidades do medidor, mantendo o registro dessa detecção mesmo quando o campo cc for desativado, sendo essa uma característica útil em situações de disputas judiciais, de modo a facilitar a sua comprovação perante ações periciais.

Mesmo que alguns medidores não sejam afetados, a solução idealizada permite identificar tentativas de fraude, ainda que frustradas, e, portanto, a realização de ações mais efetivas nas unidades consumidoras assim identificadas.

Foram apresentadas as principais características desse sensor e as modalidades de implementação previstas: *built-in circuit* para medidores novos a serem fabricados e *plug-in* para acoplamento a medidores existentes, já instalados ou não.

A utilização desse sensor nos sistemas de medição de energia elétrica para faturamento constitui-se uma importante ferramenta para o combate e programas de redução de perdas não técnicas. Estão sendo realizadas tratativas para a continuidade dos trabalhos de desenvolvimento e aprimoramento do protótipo preliminar já montado, resultante das pesquisas já realizadas, de modo avançar na sua cadeia de inovação e também na escala de maturidade tecnológica.

5.0 Bibliografia

- [1] L. C. G. de Brito, D. F. Berquó, L. F. P. Barros, C. J. Bandim e J. E. d. R. A. Júnior, "DISPOSITIVO MODULAR, SISTEMA E MÉTODO PARA MONITORAMENTO DE CAMPOS MAGNÉTICOS DE ALTA". Brasil Patente BR 10 2019 013232 9 A2, 2019.
- [2] L. C. G. de Brito, D. F. Berquó e L. F. P. Barros, "AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MEDIDORES ELETRÔNICOS DE ENERGIA ELÉTRICA INFLUENCIADOS POR CAMPOS MAGNÉTICOS DE ALTA INTENSIDADE (IMÃS DE NEODÍMIO) E AÇÕES PROPOSTAS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS NÃO TÉCNICAS (COMERCIAIS) PRODUZIDAS," XXV *SNPTEE*, 2019.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas, "ABNT NBR 14520:2011 - Medidores eletrônicos de energia elétrica – Método de ensaio," [Online]. Available: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=89388>.
- [4] E. Ramsden, *Hall-Effect Sensors - Theory and Applications*, Elsevier, 2006.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) DANIEL FERRER BERQUÓ

Daniel Ferrer Berquó nasceu em Belo Horizonte, MG, Brasil, em 1 de agosto de 1981. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFF em 2013 e obteve o título de Mestra em Engenharia Elétrica pela UFF em 2021. Desde 2014 trabalha como pesquisador no CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, em projetos de redes inteligentes, desenvolvimento de patentes e sistemas de distribuição e medição de energia elétrica.

(2) JOSÉ EDUARDO DA ROCHA ALVES JUNIOR

Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1987), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1999). Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica e professor associado da Universidade Federal Fluminense. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: medição para automação e medição fasorial. É responsável pelo LabPMU (Laboratório de PMUs) no Cepel.

(3) LUIZ CARLOS GRILLO DE BRITO

Luiz Carlos Grillo de Brito graduou-se em Engenharia Elétrica na UFRJ em 1981 e obteve o título de Mestrado em Engenharia Elétrica na COPPE-UFRJ, em 2011, no tema "Unidades de Medição Fasorial". Trabalhou na Light, de 1982 até 2001 em Sistemas de Medição de Energia Elétrica. Trabalhou, de 2002 a 2004, na ANEEL, no setor da regulação da comercialização da eletricidade. Em Furnas, entre 2004 e 2006, atuou na engenharia de equipamentos de subestações. Desde 2006 trabalha no CEPEL, em projetos de redes elétricas inteligentes, desenvolvimento de patentes, sistemas de medição de energia elétrica e eficiência energética em transformadores.

(4) CESAR JORGE BANDIM

Cesar Jorge Bandim é engenheiro eletrônico graduado pela UFRJ em 1988 e mestre em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ em 1991. Desde 1989 é funcionário do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel, ocupando atualmente o cargo de Pesquisador IV, sendo responsável pelo Laboratório de Medição de Energia Elétrica - LabMed, e sendo também membro da Equipe da Secretaria Executiva da Comissão de Política de Tecnologia da Eletrobras. Suas áreas de atuação são redes elétricas inteligentes, geração distribuída, simulação em tempo-real, ensaios hardware-in-the-loop, medição e combate às perdas de energia elétrica.

(5) LUIZ FERNANDO PEREIRA BARROS

Luiz Fernando Pereira Barros, engenheiro eletricista (ênfase em eletrônica), graduado pela Faculdades Reunidas Nuno Lisboa em 1991. Curso de extensão em "Gerenciamento de Perdas" (06 de outubro de 2010 - 12 de agosto de 2011). Trabalho no CEPEL desde 1984, iniciei como estagiário no laboratório de processamento de sinais. Desde 1992 atuo no laboratório de medição, desenvolvendo projetos na área de medição de energia e combate a perdas, no cargo de Profissional de Nível Superior II.