

EFEITO DA LUMINOSIDADE NA TAXA DE RESPOSTA DE UM SISTEMA RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

EFFECT OF LIGHT INTENSITY IN RESPONSE RATE OF A SYSTEM RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)

Flavio Lucas da Rosa¹; Eduardo José Müller²; Patrícia Hiromi Iida³,
Carla Schwengber ten Caten⁴, Carlos Fernando Jung⁵

^{1, 2, 3, 4} Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – Porto Alegre/RS – Brasil

flaviotaq@gmail.com

⁵ Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional - PPGDR
Faculdades Integradas de Taquara – FACCAT – Taquara/RS – Brasil

carlosfernandojung@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratória que teve a finalidade de identificar o efeito da luminosidade sobre o desempenho um sistema de identificação por radiofrequência (RFID). Foi aplicado um experimento fatorial do tipo 2k em um aparato experimental sob condições controladas, onde avaliou-se também os efeitos da potência do leitor e da cor de fundo onde a etiqueta foi fixada. Como resultado, comprovou-se um efeito positivo da incidência luminosa sobre o desempenho de leitura do sistema RFID.

Palavras-chave: etiquetas RFID, projeto de experimentos, luminosidade

Abstract

This paper presents the results of an exploratory study that aimed to identify the effect of light on the performance of an identification system (RFID). A factorial experiment of the type 2k was applied to an experimental apparatus under controlled conditions, which also evaluated the effects of the power of the player and the background color where the label was fixed. As a result, it was hown a positive effect of the light effect on the reading performance of RFID system.

Key-words: RFID tags, design of experiments, luminosity

1. Introdução

A tendência na automação industrial assim como nas cadeias de suprimentos é em direção a identificação rápida e em tempo real de componentes, garantindo um monitoramento contínuo dos produtos (PENTILLA, 2006 e ZHU, 2012). Neste contexto a tecnologia de identificação por rádio frequência (RFID, Radio Frequency Identification) vem sendo utilizada amplamente nos mais diversos segmentos da manufatura e serviços, automatizando diferentes tipos de processos. A aplicação de sistemas RFID incluem mas não estão limitados a: sistemas antifurto em lojas e supermercados, sistemas de passagem em transportes aéreo e urbano, controle de acesso, marcação animal, indústria farmacêutica, medicina (ULLERICH, 2001) e competições esportivas (FINKENZELLER, 2003).

Entretanto segundo Neto (2015) a tecnologia RFID enfrentou alguns inconvenientes, tais como o alto custo de implantação e equipamentos, porém estes altos custos tiveram uma queda devido à sua popularização através da rede Walmart, com o uso da tecnologia em seus produtos no varejo americano. Já o governo brasileiro através do CONVÊNIO ICMS 12(2013) realizado entre o Conselho Nacional de Política Fazendária - CONFAZ - e o Secretário da Receita Federal do Brasil, criam em 2013 o Sistema Nacional de Identificação, Rastreamento e Autenticação de Mercadorias ou Brasil-ID que implementa uma serie de padrões para implementação em massa de etiquetas RFID pelo governo brasileiro.

Porém Descalzo et al., (2011) indica que diversos fatores podem interferir no sucesso das leituras das etiquetas RFID, diminuindo a sua eficácia, gerando conjuntamente atrasos e perdas. Neste contexto Berz (2011) afirma que fatores presenciados durante seus estudos relativos a rastreabilidade com tecnologia RFID podem ter relação com o nível de luminosidade incidente no ambiente, sugerindo assim um estudo minucioso, onde todas as outras variáveis do ambiente sejam isoladas, de forma a verificar o impacto da variância desta característica sobre o funcionamento do sistema RFID e por consequência permitir a minimização ou potencialização destes impactos em implantações futuras.

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa quantitativa exploratória cujo objetivo foi identificar o efeito da luminosidade sobre um sistema RFID em um ambiente controlado, através de experimentos planejados com base em uma revisão bibliográfica das possíveis interferências em sistemas RFID e do tratamento estatístico aplicável aos experimentos realizados.

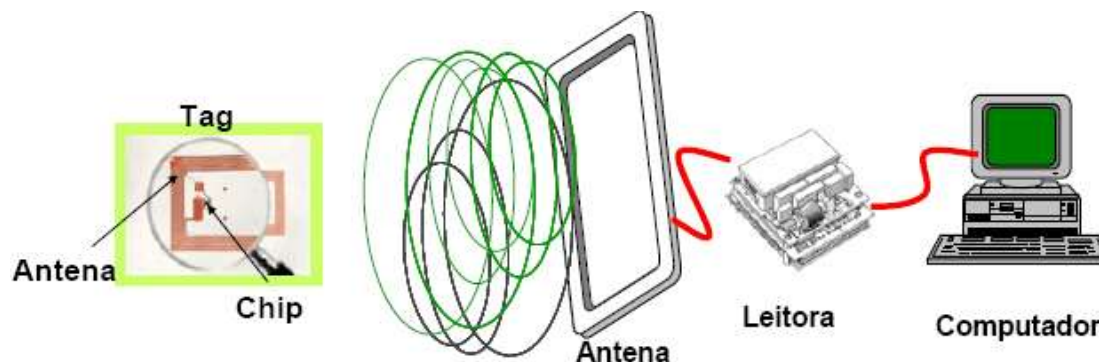
O restante deste artigo está organizado conforme segue: a seção 2 apresenta o referencial teórico sobre o tema, a seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos, a seção 4 apresenta a análise dos resultados, e a seção 5 traz as considerações finais do estudo.

2. Referencial teórico

2.1 Funcionamento e desempenho dos sistemas RFID

A Figura 1 ilustra um sistema de identificação RFID que segundo Pentilia (2006) é composto de antenas, leitores e etiquetas (tags) que são fixadas a alvos ou objetos a serem identificados.

Figura 1 - Ilustração de um sistema de RFID genérico



Fonte: Puhlmann (2015)

Greff (2009) e Puhlmann (2015) esclarecem que RFID é uma tecnologia de identificação que utiliza a rádio frequência para capturar informações, permitindo que uma etiqueta RFID forneça informações de um determinado item sem a necessidade de contato ou campo visual, mesmo através de barreiras e objetos tais como madeira, plástico, papel, entre outros.

Os sistemas RFID são classificados em ativos ou passivos. Os sistemas ativos possuem baterias embutidas nas etiquetas que emitem sinal automaticamente em períodos pré-definidos, são mais caras e são menos interessantes pela questão ambiental, pois suas baterias geram resíduo contaminante (KESKILAMMI et al., 2003). As etiquetas UHF passivas funcionam através da energia das ondas constantes vindas do emissor/leitor e são mais utilizadas devido as suas várias vantagens, tais como: tamanho, custo e boa distância de operação (JANG et. al., 2008).

De maneira geral, os sistemas RFIDs são robustos e podem ser aplicados na maior parte dos ambientes agressivos onde etiquetas de código de barras não poderiam ser utilizadas. Os sistemas RFIDs são resistentes a poeiras, óleos, altas e baixas temperaturas, fluidos refrigerantes, cortes que ocorrem comumente em ambientes de manufatura (FINKENZELLER, 2003 e ROBERTS, 2006).

Existem fatores de interferência que afetam o desempenho e dificultam a leitura das etiquetas RFID. A maioria das etiquetas RFID não pode ser colocada sobre a superfície metálica porque tais superfícies alteram o padrão de radiação, impedância de entrada, eficiência da radiação

e frequência ressonante, diminuindo o sucesso de leitura. O metal reflete as ondas oriundas do leitor em fase reversa, cancelando as novas ondas incidentes. Tais interferências são dependentes do tamanho e da forma do objeto metálico e possui forte interação com a distância da etiqueta em relação ao leitor (MO, 2007).

Griffin (2006) estudou as perdas de sinais (gain penalties) ao aderir as etiquetas RFID próximas a diferentes tipos materiais. Os materiais em ordem crescente de perda foram: cartolina, placa de acrílico, compensado de madeira, água deionizada, etileno glicol, carne moída, placa de alumínio. Dobkin (2005) mostrou efeitos prejudiciais da água e do metal na impedância, alcance de leitura e na transferência de força em etiquetas RFID.

Um fator crítico que limita a melhoria do desempenho de sistemas RFID são as colisões entre sinais de diferentes etiquetas. Uma vez que estas etiquetas utilizam a mesma frequência de operação, quando duas delas emitem o sinal simultaneamente, o sinal não pode ser identificado. Para lidar com este problema, foram criados os chamados “protocolos anticolisão” que são algoritmos rodados no leitor e nas etiquetas com o intuito de separar os sinais de cada uma delas, tornando os sinais, em alguns casos, novamente identificáveis (FINKEZELLER, 2003 e AZAMBUJA et al., 2008).

2.2 Efeito fotovoltaico em componentes eletrônicos

Segundo Costa (2015) o efeito fotovoltaico foi demonstrado pela primeira vez em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel, através de uma solução condutora exposta à luz solar. Porém Vallera (2006) esclarece que a história da energia fotovoltaica teve de esperar os grandes desenvolvimentos científicos da primeira metade do século XX, como: a) a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein em 1905; b) o advento da mecânica quântica e, em particular, a teoria de bandas e a física dos semicondutores; e c) as técnicas de purificação e dopagem associadas ao desenvolvimento do transistor de silício.

Pereira (2014) afirma que a células fotovoltaicas de primeira e segunda geração têm seu funcionamento baseado na associação de um grande número de uma “junção” de ligas semicondutoras baseadas em silício denominadas de junção p-n. Neste contexto Nascimento (2015) ressalta que a junção p-n são a essência da eletrônica moderna, os transistores, os diodos, os detectores e os termistores são dispositivos construídos a partir de materiais semicondutores e podem ser empregados como elementos isolados de um circuito ou compondo os denominados circuitos integrados. No entanto as patentes US3455020 (1969), US4074300(1978), US5168072(1992), US5268330(1993) e US6130123(2000) demonstram um grande esforço para o desenvolvimento de sistemas de proteção da junção p-n contra interferências externas,

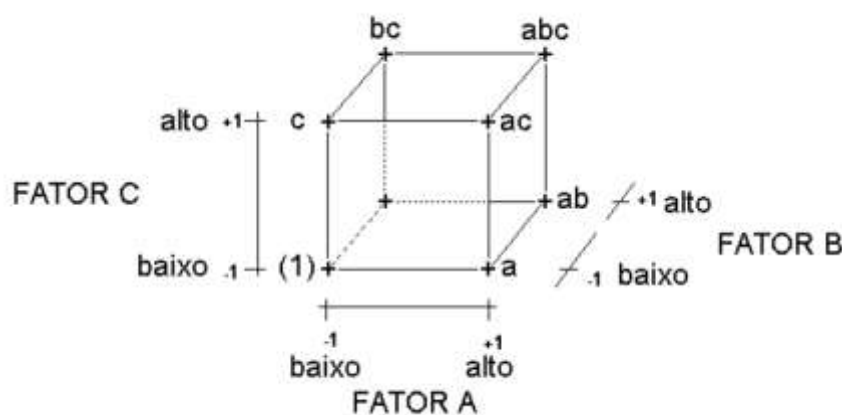
principalmente as eletromagnéticas como por exemplo a luminosidade, de forma a permitir o funcionamento de componentes eletrônicos de forma estável.

2.3 Projetos fatoriais do tipo 2k

Projetos fatoriais do tipo 2k são amplamente utilizados em projetos que envolvem muitos fatores, onde é necessário estudar o efeito conjunto destes sobre uma determinada resposta. Estes projetos são igualmente importantes por formar a base de outros projetos mais complexos de grande valor prático. O nome 2k vem do fato de que são estudados k fatores todos a 2 níveis. Os níveis podem ser qualitativos ou quantitativos, como por exemplo, operadores, máquinas, valores de temperatura ou mesmo a presença e ausência de um fator (MONTGOMERY, 1997).

Projetos fatoriais do tipo 2³ são desenhos experimentais onde 3 fatores são estudados a 2 níveis (baixo e alto). Os tratamentos ou setups deste tipo de experimento podem ser representados por um cubo, ver Figura 2. Existem 3 principais notações para representar os níveis. A mais comum delas é a notação que utiliza -1 para o nível baixo e +1 para o nível alto. (MONTGOMERY, 1997 e RIBEIRO e CATEN, 2003).

Figura 2 - Projeto Fatorial do tipo 2³



Fonte: Adaptado de Ribeiro e Caten (200)

3. Procedimentos metodológicos

A partir de 2005 com a execução do projeto Método para Mapeamento de Fontes Emisoras de Campos Eletromagnéticos Aplicado a Processos de Gestão Ambiental e Planejamento Industrial o Polo de Inovação Tecnológica do Paranhana/Encosta da Serra passou a contar com equipamentos e pesquisadores na área de radiofrequências. Pesquisas como as realizadas por Berz (2011) no Polo foram viabilizadas desde então. Este autor, em especial, durante o processo de pesquisa verificou a

possibilidade de haver influência da luminosidade sobre sistemas de RFID. Em função disto os resultados mostraram a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre não somente os efeitos da luminosidade, mas a respeito dos possíveis comprimentos de onda que poderiam influenciar mais a eficiência destes dispositivos.

Os resultados apresentados neste artigo foram obtidos através de uma pesquisa de natureza exploratória quantitativa. Corroborando Jung (2004), afirma que as pesquisas exploratórias têm como objetivo estudar problemas a fim de descobrir novas práticas, enquanto as pesquisas quantitativas normalmente se utilizam de ferramentas matemáticas para facilitar o entendimento da realidade e produzem resultados mensuráveis.

Inicialmente foi realizado uma breve pesquisa na literatura referente ao efeito eletromagnético na faixa de espectro luminoso, a qual se encontra sintetizada no item 2.2 deste artigo. Esta breve pesquisa resultou na hipótese de que a camada de proteção da junção p-n das etiquetas RFID modelo shortDipole da marca UPM é ineficiente e por consequência o funcionamento da etiqueta RFID pode ser influenciado pela luminosidade.

Para verificação da hipótese foi projetado um experimento do tipo 2k e elencados como fatores controláveis neste experimento: (i) a presença de luz incidente sobre a etiqueta RFID; (ii) a coloração do material sob a etiqueta RFID; e (iii) a potência transmitida pelo leitor. Demais fatores, descritos na Quadro 1, foram considerados capazes de influenciar o sistema RFID, mas foram mantidos constantes pois não são foco deste estudo. Alguns fatores não controláveis foram apenas monitorados.

Quadro 1 - Variáveis monitoradas ou mantidas constantes durante os experimentos

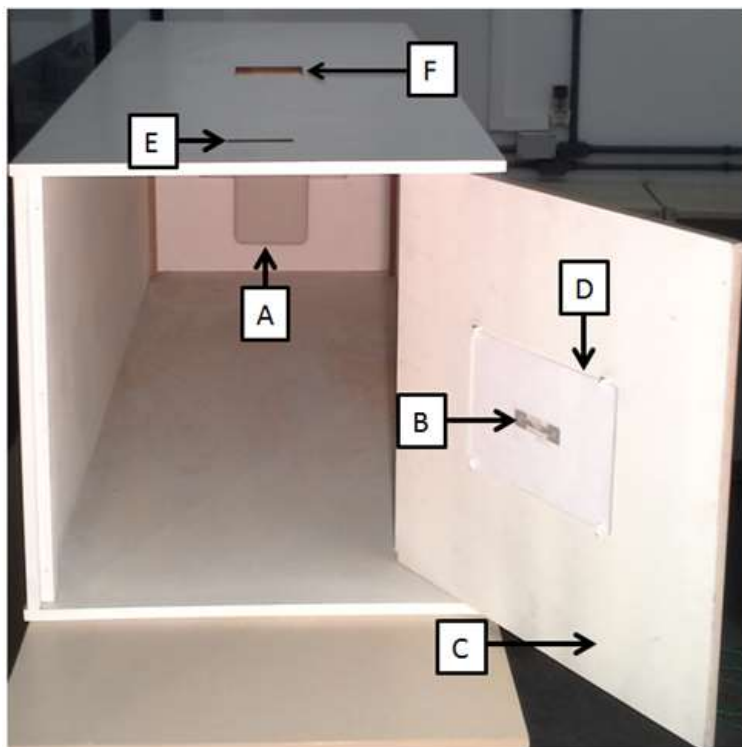
	Fator	Observação
Não controláveis	Temperatura	Faixa de 21,4 °C a 22,1°C
	Umidade relativa do ar	Faixa de 55,1% a 55,8%
	Momento dos experimentos	Início 21 horas e 18 minutos término 21 horas e 52 minutos de 08/07/2013
	Ruído eletromagnético	Faixa de 900 Mhz a 930 Mhz
Constantes	Etiqueta RFID	
	Antena acoplada ao leitor	
	Leitor	
	Operador	
	Luminosidade ambiente	Bloqueada pela caixa
	Tipo de fonte luminosa	Conjunto de 92 LED's
	Distância entre tag e antena	2 metros
	Posição da antena	Polarização Circular
	Posição da tag	Polarização horizontal
	Frequência de transmissão do leitor	915,25 MHZ

Com base na estratégia estabelecida foi desenvolvido um aparato experimental especificamente para estes testes, o qual consiste basicamente em uma caixa de madeira de dimensões 2 m de comprimento por 1 m de altura por 1 m de largura com o interior totalmente revestido de pintura branca fosca. Esta caixa possui uma tampa lateral removível onde se encontra fixada a antena do leitor. Existe uma abertura central no teto da caixa, onde é encaixada a fonte luminosa composta por um conjunto de LEDs. Ainda no teto do aparato existe uma abertura para colocação do Luxímetro Termo Higrômetro.

Durante todos os ensaios utilizou-se uma única etiqueta RFID que foi colada em uma placa de acrílico de 4 mm de espessura com 210 mm de largura e 297 mm de comprimento. Atrás da placa de acrílico foram posicionadas duas folhas de papel com gramatura 120 g/m² nas cores branca e preta, uma sobre outra. De acordo com a ordem experimental, invertia-se a ordem das folhas.

A Figura 3 demonstra as partes do aparato experimental e a posição das folhas de papel que compõem o fundo do aparato, sendo: (A) Antena sobre a tampa traseira; (B) Etiqueta RFID colada sobre a placa de acrílico; (C) Tampa frontal; (D) Tampa de acrílico fixada sobre folha branca e com folha preta no fundo; (E) Abertura para realização das medições de luminosidade, umidade relativa do ar e temperatura; e (F) Abertura para fixação da fonte de luminosidade.

Figura 3 - Identificação das partes da caixa



A decisão de colocar as folhas juntas ao fundo do aparato acrílico que sustenta a etiqueta, ao invés de colocar uma folha de cada vez, tem a finalidade de não confundir o possível efeito das

diferentes propriedades físico-químicas das folhas branca e preta com o efeito da reflexão da luz sobre a etiqueta RFID. Caso fosse colocada uma folha de cada vez, não conseguiríamos concluir se o efeito de uma determinada folha foi devido a sua cor e propriedades reflexivas ou de sua constituição química.

No Quadro 2 encontra-se uma lista dos equipamentos utilizados durante os experimentos.

Quadro 2 - Lista dos equipamentos utilizados

Equipamento	Modelo	Fabricante ou marca
Antena	MTI MT-262010/TRH/A	MTI WIRELESS EDGE, LTD
Leitor	Mercury 4	Thingmagic
Etiqueta RFID	ShortDipole ^x	UPM Raflatac
Fonte luminosa	LPEL06CW3-WN	Cromatek
Luxímetro Termo-Higrômetro	THDL400	Instruterm
Analizador de espectro	WSUB3G / 3G Combo	RF EXPLORER
Analizador de espectro	HM 5014-2	Hameg Instruments
Notebook	Aspire 5920	Acer

Com o aparato experimental completamente montado em um laboratório com temperatura controlada foram realizados experimentos iniciais para determinar quais as intensidades dos fatores controlados seriam significantes para o experimento. Desta forma cada fator foi manipulado individualmente, mantendo os outros fatores bloqueados ou monitorados. O Quadro 3 apresenta os valores de cada nível obtido e a sua codificação atribuída. Ao final, chegou-se a um desenho experimental de projeto fatorial do tipo 2³. Também foi estabelecida a variável de resposta como sendo o número de vezes que a etiqueta é identificada pelo leitor no intervalo de leitura de 10 segundos.

Quadro 3 - Fatores controláveis, níveis e codificação

Fator	Valor do Nível	Codificação	Observação
Luminosidade	1000 lux	+1	Os valores de potência foram medidos no local em que etiqueta RFID foi posicionada para os ensaios, através do analisador de espectro com dipolo de meia onda
	0 lux	-1	
Potência	-3,5 dBm	+1	
	-6 dBm	-1	
Cor	Branca	+1	
	Preta	-1	

Para realizar a leitura das etiquetas foi utilizado um software na linguagem Java desenvolvido por Berz (2011). Este software realiza o controle do leitor RFID registrando a

contagem do número de vezes que uma etiqueta RFID foi detectada durante um período de 10 segundos. É importante ressaltar que este software utiliza de um protocolo anticolisão denominado Random Slotted (Algoritmo Q) ajustado com o parâmetro “Q” igual a zero, o que segundo Berz (2011) resulta em um maior número de leituras no tempo especificado quando somente uma etiqueta RFID está no raio de ação do leitor.

Foram realizadas duas leituras para cada tratamento de modo a existirem graus de liberdade para compor o erro experimental. A sequência dos ensaios foi realizada de maneira aleatória.

4. Resultados

Na sequência são apresentados os resultados obtidos, ver Quadro 4.

Quadro 4 – Resultados experimentais

Número de leituras		Cor			
		-1		+1	
		Luz		Luz	
		-1	+1	-1	+1
Potência	-1	10	13	9	22
		10	12	5	23
	+1	10	13	9	23
		9	13	9	23

A partir dos dados, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) para identificar a existência de diferenças entre grupos como demonstra o Quadro 5. Pela análise da tabela ANOVA, foram verificadas diferenças estatisticamente significativas (com 95% de confiança) nos efeitos da cor, luminosidade e na interação cor x luminosidade.

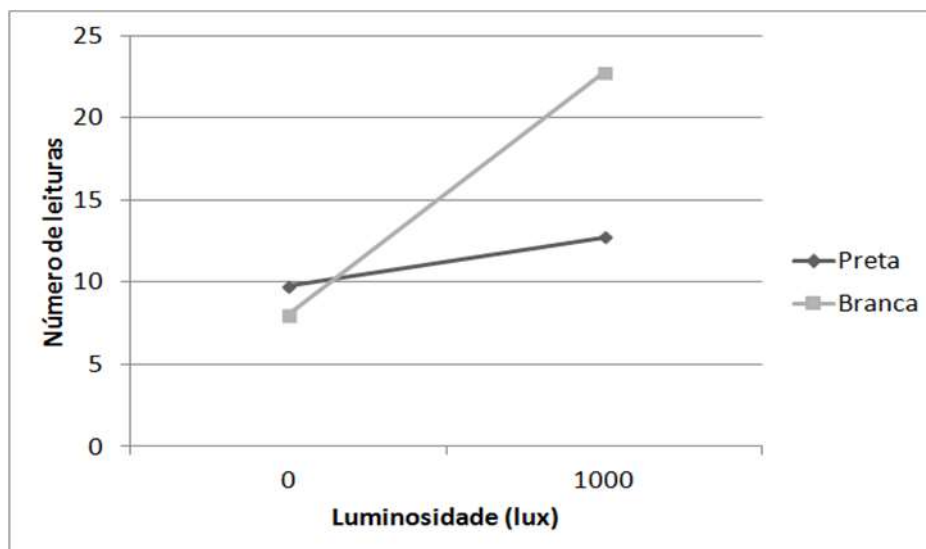
Quadro 5 - Tratamento estatísticos dos dados (Tabela ANOVA)

Fatores		Contraste	Efeito	SQ	GL	MQ	F-Calculado	F-Tabelado
Principal	Potência	5	0,63	1,56	1	1,56	1,32	5,32
	Cor	33	4,13	68,06	1	68,06	57,32	5,32
	Luminosidade	71	8,88	315,06	1	315,06	265,32	5,32
Interação	Cor x Luminosidade	47	5,88	138,06	1	138,06	116,26	5,32
	Cor x Potência	5	0,63	1,56	1	1,56	1,32	5,32
	Luminosidade x Potência	-1	-0,13	0,06	1	0,06	0,05	5,32
	Cor x Luminosidade x Potência	-5	-0,63	1,56	1	1,56	1,32	5,32
Erro aleatório				9,50	8	1,19		
Total				535,4375	15			

O pequeno erro experimental demonstrado na tabela ANOVA (Quadro 5) indica que o projeto dos experimentos obteve êxito em seu planejamento quando se refere a identificação e tratamento dos fatores mantidos constantes.

Pela comparação gráfica das médias mostrada na Figura 4 é possível verificar o efeito positivo da presença de luz sobre o número efetivo de leituras da etiqueta RFID. Este efeito é potencializado quando ao fundo da etiqueta RFID é posicionada a folha de cor branca.

Figura 4 - Gráfico dos efeitos da luminosidade e da cor do papel no número de leituras



Pode-se afirmar que, com os resultados obtidos, a intensidade luminosa interfere no sistema estudado aumentando positivamente o número de leituras realizadas, isto se relaciona diretamente com o efeito fotoelétrico sobre a junção p-n demonstrado por Albert Einstein em 1905 (VALLERA, 2006). O fato da etiqueta Rider influenciada pela luminosidade pode indicar que as junções p-n da etiqueta RFID analisada não possuem, uma proteção de junção p-n eficaz.

Esperava-se que o fator cor de fundo não apresentasse efeito principal, pois acreditava-se que a intercalação das folhas anulava o efeito do material sobre o número de leituras. Como ocorreu significância do fator cor sobre o desempenho de leitura da etiqueta RFID, é possível que as características físico-químicas das folhas de papel utilizadas sejam diferentes e possuam efeito sobre a etiqueta, mesmo com a intercalação das folhas e a ausência de luz. A influência das características físico-químicas sobre a capacidade de leituras de sistemas RFID foram estudadas e comprovadas pelos estudos de Griffin (2006). Como não foi possível isolar o efeito da luz sobre a etiqueta do efeito da cor de fundo, abre-se a possibilidade de novos estudos focados especificamente no estudo da reflexão da luz sobre o material em que a etiqueta é adesivada.

O fato do efeito da potência e suas interações não ter registrado significância, neste experimento, indica que o aumento de potência não foi capaz de aumentar a velocidade de leitura da etiqueta no ambiente e níveis estudados. No entanto, existe a possibilidade de que a potência de resposta da etiqueta RFID sofra influência positiva da luminosidade.

Um aumento na potência de resposta da etiqueta RFID não reflete necessariamente em aumento na taxa de resposta da etiqueta RFID, mas segundo Dobkin (2005) poderia aumentar a distância de operação do sistema RFID. Esta variável de saída, potência de resposta da etiqueta, não foi avaliada por restrições instrumentais.

5. Considerações finais

Este artigo apresentou os resultados de uma pesquisa exploratória que teve por finalidade identificar e analisar o efeito da luminosidade sobre um sistema RFID em um ambiente controlado, através de um projeto experimental fatorial ²³. O projeto foi estruturado a partir de uma revisão bibliográfica sobre os fatores de interferência em sistemas RFID e do efeito da luminosidade sobre semicondutores utilizados em circuitos integrados.

A análise dos resultados comprovou a influência positiva da luminosidade no sistema RFID estudado.

A presença de luz sobre o sistema aumentou significativamente o desempenho de leitura do sistema analisado. Embora a análise estatística demonstrem a interação entre os fatores cor do fundo e luminosidade, não foi possível explicar este fenômeno com o experimento realizado.

Apesar da influência da luminosidade sobre semicondutores ser amplamente estudada não é comum que os efeitos desta influência seja detectada em produtos baseados em circuitos integrados graças aos esforços, relatados no item 2.2 deste artigo, para a proteção das junções p-n. Contudo a descoberta de um aumento da capacidade de resposta de um sistema RFID sobre a influência da luminosidade abre uma série de possibilidades de novos estudos que podem influenciar desde o desenvolvimento de novos tipos de etiquetas RFID até mesmo o aperfeiçoamento das técnicas de utilização de etiquetas RFID baseadas na influência da luminosidade do ambiente.

Desta forma, como sugestão para estudos futuros acerca da taxa de resposta de etiquetas RFID, a saber: (i) o estudo dos efeitos do tipo fonte luminosa, como por exemplo, luminosidade natural ou lâmpadas com diferentes características; (ii) a influência das diferentes faixas de espectro luminoso; (iii) a influência da interação entre a luminosidade e o material sob a etiqueta; (iv) a influência de possíveis materiais translúcidos utilizados sob a etiqueta; e (v) análise da sensibilidade luminosa em diferentes marcas de etiquetas RFID.

Referências

- AZAMBUJA, M.C.; MARCON, C.; HESSEL, F.P. Survey of Standardized ISO 18000-6 RFID Anti-Collision Protocols. In: **The Second International Conference on Sensor Technologies and Applications**, pp. 468-473, 2008.
- BERZ, E.L. Predição do funcionamento de Sistemas RFID aplicado a crachás inteligentes; **Dissertação** (Ciência da Computação), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2011.
- CONVÊNIO ICMS 12, Dispõe sobre a criação do Sistema Nacional de Identificação, Rastreamento e Autenticação de Mercadorias ou Brasil-ID e institui um conjunto de instrumentos que promovem modernização da fiscalização de mercadorias. abril de 2013
- COSTA, R.F. Chaveamento de cargas intermitentes usando sensor de corrente; **Monografia** (Engenharia Elétrica), Universidade Estadual Paulista, 2015.
- DESCALZO, D.; SILVA, F.A.J.; CLEMENTE, G.C. RFID: Análise da viabilidade, vantagens e desvantagens da tecnologia e desenvolvimento de um sistema para demonstração e testes. **Monografia** (Tecnólogo em Eletrônica e Tecnólogo em Sistema de Telecomunicações), Universidade Tecnologia Federal do Paraná, 2011.
- DOBKIN, D.M. Environmental effects on RFID tag antennas: 2005 **IEEE MTT-S International Microwave Symposium**, Vols 1-4, p. 135-138, 2005.
- FINKENZELLER, K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contact Less Smart Cards and Identification**. New York: Wiley & Sons, 2ª edição, 446p, 2003.
- GREFF, P.A. Especificação de um sistema para monitoramento de atividades de natação usando RFID. **Monografia** (Tecnólogo em Sistema de Telecomunicações), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2009.
- GERHARD, T.E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de pesquisa**. Editora da UFRGS: Porto Alegre, 2009.
- GRIFFIN, J.D.; DURGIN, G.D. RF tag antenna performance on various materials using radio link budgets: **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, v. 5, p. 247-250, 2006.
- JANG, B.J.; YOON, H. Range Correlation Effect on the Phase Noise of an UHF RFID Reader: **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**, v. 18, p. 827-829, 2008.
- JUNG, C.F. **Metodologia Para Pesquisa & Desenvolvimento: Aplicada a Novas Tecnologias, Produtos e Processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2004.
- KESKILAMMI, M.; SYDANHEIMO, L.; KIVIKOSKI, M. Radio frequency technology for automated manufacturing and logistics control. Part 1: Passive RFID systems and the effects of antenna parameters on operational distance: **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 21, p. 769-774, 2003.
- MO, L.F.; ZHANG, H.J. RFID antenna near the surface of metal: IEEE 2007 **International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and Emc Technologies for Wireless Communications**, Vols I and II, p. 803-806, 2007.
- MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**; John Wiley and Sons, New York, 5 ed. 1997.
- NASCIMENTO, L.; JAMSHIDI, L.C.L.A.; BARBOSA, C.M.B.M. Campo magnético em super-redes semicondutores de cristais. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v.36, n.1, p.81-88, 2015.
- NETO, O.T.; JUNIOR, L.A.J.; HERNANDEZ, M.F.G Abordagem sobre a tecnologia RFID UHF e suas aplicações. Perspectivas em Ciências Tecnológicas, v.4. n.4, p. 134-147, 2015.

PENTTILA, K.; KESKILAMM, M.I.; SYDANHEIMO, L.; KIVIKOSKI, M. Radio frequency technology for automated manufacturing and logistics control. Part 2: RFID antenna utilisation in industrial applications: **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 31, p. 116-124, 2006.

PEREIRA, E.A. Estudo do desempenho de filmes de TIO₂ como acceptor de elétrons e obtenção de fases puras de nanopartículas de TIO₂: anatase e rutila, sintetizado por uma nova rota química. **Dissertação** (Mestre em Ciências dos Materiais), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2014.

PUHLMANN, H. F.W. Introdução à tecnologia de identificação RFID. **Retrieved**, 01, 2015.

RIBEIRO, J.L.D.; CATEN, C.S.T. **Projeto de experimentos**. Porto Alegre: FEEng/UFRGS, 128 p. 2003.

ROBERTS, C.M. 2006. Radio frequency identification (RFID). **Computers & Security**, 25(1), 18–26. 2006.

ULLERICH, S.; MOKWA, G.; BÖGLE, G.V.; SCHNAKENBERG, U. Foldable micro coils for a transponder system measuring intraocular pressure. **Proceedings of Sensors 2001**, 8–10 May, Nuremberg, Germany, vol. 1, pp. 319–342, 2001.

US3455020 Method of fabricating insulated-gate field-effect devices. ROBERT, H.D.; BRUNSWICK, N.; SOMERVILLE, N.H.; MITCHELL, M.M.; EDISON, N.J, july, 1969,

US4074300, Insulated gate type field effect transistors. SAKAI, T.; TOKOROZAWA, Y.S.; KODAIRA, J.M.; WADA, T.; YAMATO, H. fev, 1978.

US5168072, Method of fabricating an high-performance insulated-gate field-effect transistor. MOSLEHI, M.M, dez, 1992.

US5268330, Process for improving sheet resistance an integrated circuit device gate. JOHN, H.G.; NAKON, J.S.; BRUKE, P.A.; HILL, C.M.; LAM, C.H. dez, 1993.

US6130123, Method for making a complementary metal gate electrode technology. LIANG, C.; BAI, G. out. 2000.

VALLÊRA. A.M. Meio século da história fotovoltaica. **Gazeta de física**, Departamento de física e centro da matéria condensada. Faculdades de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. ZHU, X.W.; MUKHOPADHYAY, S.K.; KURATA, H. A review of RFID technology and its managerial applications in different industries: **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 29, p. 152-167, 2012.

Recebido: 20/06/2014

Aprovado: 07/08/2015