

ANÁLISE DE PESQUISAS SOBRE INTERMODULAÇÃO ENTRE ANTENAS DE LEITORES RFID APLICADOS A SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Flávio Lucas da Rosa¹

Carlos Fernando Jung²

José Luis Duarte Ribeiro³

RESUMO: Este artigo apresenta uma revisão sistemática. Com o objetivo de evidenciar e analisar as contribuições realizadas por pesquisas focadas nos efeitos da interferência causada pela intermodulação. Ou seja, entre antenas acopladas a leitores RFID (*Radio-Frequency Identification*). Para isso, foram selecionadas 37 publicações das plataformas: *IEEE Periodicals*, *Emerald Management e-Journals*, *SciVerse ScienceDirect* (Elsevier), e *SciVerse Scopus* (Elsevier). Verificou-se que existe uma concentração de 70% das publicações em cinco países e que estas publicações são recentes, 49% nos últimos três anos. Além disso, identificou-se que 27% das pesquisas selecionadas utilizam algum sistema de controle de potência sobre as antenas baseado em leitores RFID. No entanto, foi encontrada apenas uma pesquisa que recomenda que se desenvolvam antenas. As quais permitem o controle da distribuição da potência sobre uma área específica. Como resultado principal, apresenta-se um diagrama que reúne e organiza hierarquicamente os tipos de algoritmos anticolisão relatados nas pesquisas selecionadas.

Palavras-chave: RFID. Interferência. Antena. Leitor.

1 INTRODUÇÃO

No mundo competitivo dos negócios consideram-se alguns fatores chave para o sucesso, como: a velocidade de operação e da entrega e o alto nível de serviço exigido pelo cliente (CHANG et al., 2011). Neste contexto, Motamedi et al. (2013) afirmam que diversas

¹ Mestrando, Professor, Engenheiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Curso de Engenharia de Produção, Faculdades Integradas de Taquara – FACCAT, Taquara, Rio Grande do Sul/Brasil. E-mail: flaviotaq@gmail.com

² Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, PPGDR, Faculdades Integradas de Taquara, FACCAT, Taquara, Rio Grande do Sul/Brasil. E-mail: carlosfernandojung@gmail.com

³ Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul/Brasil. E-mail: ribeiro@producao.ufrgs.br

tecnologias têm sido investigadas para maximizar a eficiência do processo de gerenciamento de ativos.

O uso da tecnologia para melhorar o controle do processo de gerenciamento de ativos não é um conceito novo, pois muitas empresas, como, por exemplo, a *Walmart*, utilizam códigos de barras para identificar e rastrear seus ativos (ZHU et al., 2011). Porém, apesar, desta tecnologia estar estabelecida e acessível, a mesma tem apresentado problemas, devido ao seu alcance de leitura e durabilidade das etiquetas que contém os códigos de barras, pois um código de barras requer uma linha de visão para ser lido e torna-se ilegível quando riscado ou sujo (WANG, 2008).

- i). Neste contexto, Park et al. (2010) relatam que a tecnologia de RFID (*Radio-Frequency Identification*) está recebendo maior atenção por causa de suas capacidades distintas em relação ao sistema de código de barras tradicional, as quais são descritas por Chang et al. (2011) como:
 - i). *uniqueness* – permite a identificação única do produto, distingue cada produto pelo seu número de identificação – ID;
 - ii). *timeless* – reduz ou elimina o tempo para cada etapa de verificação da ID como a digitalização e digitação;
 - iii). *accuracy* – elimina o erro de verificação do ativo e estabelece um banco de dados com informações corretas, especialmente útil para manipulação de inventário; e
 - iv). *completeness* – garantia da disponibilidade de informação relevante.

Um sistema de RFID é formado por três componentes básicos: uma antena acoplada a um leitor de Rádio Frequência – RF e um ou mais *transponders* RF também conhecidos como *Tag's* (MOTAMEDI et al., 2013). Este sistema oferece comunicação sem fio entre as *Tags* e leitores, o que permite a identificação, rastreamento e coleta de dados do ativo vinculado a uma *Tag* (REN et al., 2013).

Domdouzis et al. (2007) relatam um crescente número de pesquisas realizadas sobre sistemas RFID, mesmo assim, Lazaro et al., (2009) e Delgado et al., (2013) afirmam existirem algumas dificuldades a serem superadas, como, por exemplo, a intermodulação entre leitores. Neste contexto nota-se o aparecimento de publicações que centralizam, organizam, orientam o conhecimento acumulado nos vários estudos realizados dentro de determinado aspecto da tecnologia RFID como:

- (i). Juels (2006) que analisou as publicações técnicas referentes aos problemas de segurança e privacidade relacionada a tecnologia RFID.
- (i) Domdouzis et al. (2007) que apresentam um breve relato histórico das aplicações RFID.
- (ii) Trappey et al. (2011) que realizam uma análise dos pedidos de depósitos de patentes realizados na China identificando as tendências do crescimento da tecnologia RFID neste país.
- (iii) Park et al. (2010) que apresentam uma comparação dos benefícios e dos riscos percebidos por empresas localizadas nos EUA e na Coreia do Sul, além de avaliar o impacto estratégico no desempenho das empresas que implementaram a tecnologia RFID nestes países, e
- (iv) Zhu et al. (2011) que revisaram os principais tipos de sistemas anticolisão da tecnologia RFID.

Autores como Lazaro et al. (2009), Yang et al. (2011), Zhu et al. (2011), Delgado et al. (2013), Wang et al. (2013) e relatam a necessidade de estudos referentes as interferências entre leitores RFID. Neste contexto acredita-se que estudos relacionados a dificuldades encontradas em sistemas RFID, especialmente no que diz respeito à interferência gerada entre leitores RFID, poderão dar suporte teórico para o aumento de eficiência econômica em aplicações RFID (WANG et al., 2013).

Este artigo tem o objetivo de evidenciar e analisar as contribuições realizadas por pesquisas focadas nos efeitos da interferência causada pela intermodulação entre antenas acopladas a leitores RFID. Ainda este trabalho, também, reúne e analisa a classificação de técnicas utilizadas para o tratamento da intermodulação entre antenas de leitores RFID.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta os procedimentos metodológicos da pesquisa, a seção 3 a revisão sistemática da literatura, a seção 4 discute os resultados obtidos a partir desta revisão e a seção 5 conclui o estudo.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este artigo constitui uma revisão sistemática da literatura e reúne contribuições sobre o desenvolvimento de soluções para redução da interferência de intermodulação em antenas utilizadas em leitores RFID. Jung (2004) estabelece que esse tipo de pesquisa deve descrever, analisar e discutir os conhecimentos científicos ou tecnológicos já publicados.

Neste sentido Hinggins e Green (2011) afirmam que é importante definir uma estratégia para selecionar os artigos a serem estudados, estabelecendo critérios de seleção, pois assim futuros pesquisadores poderão reutilizar estes critérios o que permitirá comparar resultados e observar a evolução temporal dos estudos.

Nesta pesquisa foram utilizados quatro critérios de inclusão. Assim, para um artigo integrar esta revisão, foi necessário: (i) conter a expressão 'RFID' no título; (ii) conter a expressões *antenna*, *reader* e *interference* em qualquer parte do trabalho; (iii) ter sido publicado em inglês, português ou espanhol e (iv) ser artigo científico de uma das bases utilizadas. Esta pesquisa não ofereceu restrição quanto ao ano da publicação dos artigos.

Em uma segunda etapa, os critérios de inclusão foram aplicados sobre as seguintes bases de dados: (i) *IEEE Periodicals*; (ii) *Emerald Management e-Journals*; (iii) *SciVerse ScienceDirect (Elsevier)*; e (iv) *SciVerse Scopus (Elsevier)*. Isso permitiu a identificação de 90 artigos que satisfizeram os critérios de busca. Durante a leitura dos trabalhos, os mesmos foram novamente selecionados, descartando aqueles que não apresentavam conteúdo relacionado com antenas utilizadas em leitores RFID. Baseado nesse procedimento, foram identificados 53 artigos que não atendiam este critério, restando 37 trabalhos para realização deste estudo.

A partir da leitura dos artigos selecionados foi construída uma planilha eletrônica que facilitou a organização das seguintes informações:

- (i) título;
- (ii) autores;
- (iii) periódico;
- (iv) palavras-chave;
- (v) número de páginas;
- (vi) relatos de problemas relacionados a intermodulação;
- (vii) relato da aplicação de técnicas para a eliminação ou redução da intermodulação;
- (viii) efeitos negativos da utilização de técnicas para redução ou eliminação da intermodulação;
- (ix) área de atuação ou setor em que o estudo foi realizado;
- (x) recomendações para pesquisas futuras;
- (xi) local de origem da pesquisa; e
- (xii) classificações das técnicas para a redução de interferência intermodulação entre antenas acopladas a leitores RFID.

Quando a pesquisa contribuiu para o aprimoramento de um setor ou área do conhecimento, ela foi classificada como pertencente a esta área ou setor do conhecimento. Porém alguns artigos não relatavam a aplicação direta em algum setor específico, mas utilizavam de simulação para comprovar seus resultados, o que permitiu sua classificação como “simulação”. Além disso, artigos que não se enquadraram nos critérios anteriores tiveram seu conteúdo classificado como melhoria de hardware ou melhoria de *software*.

Após a coleta dos dados, foram conceituados e classificados os diversos tipos de intermodulação em sistemas RFID e algoritmos vinculados a redução da intermodulação. Também foram sintetizados os relatos de aplicação de técnicas para a eliminação ou redução da interferência de intermodulação e os efeitos da utilização destas técnicas em sistemas RFID.

Para seleção dos conteúdos que compõem esta síntese, foram criados os seguintes critérios de inclusão:

- i. ter sido utilizada em algum dos artigos selecionados para este estudo;
- ii. ter relação com a redução ou eliminação dos efeitos da interferência causada pela intermodulação entre antenas acopladas a leitores;
- iii. não apresentar qualquer necessidade de alteração de hardware ou software nas *tags* utilizadas no estudo da técnica em questão.

Para facilitar a análise dos resultados foram criados gráficos que apresentam a origem das publicações, o ano em que a pesquisa foi publicada e o foco do estudo. Duas pesquisas selecionadas foram realizadas em mais de um país e uma pesquisa em mais de um continente, por isso, foram representadas nos gráficos com a denominação de “mais que um”. Também foi criada uma tabela que relaciona em ordem cronológica o ano de publicação, os autores da publicação e o foco da pesquisa.

Por fim, foi elaborado um diagrama que sintetiza e agrupa os diversos tipos de classificação de algoritmo anticolisão encontrados durante a leitura dos artigos selecionados. Neste diagrama os critérios de classificação ou grupos de critérios foram ordenados de forma hierárquica. Cada critério de classificação ou grupo de critério foi vinculado aos autores que os criaram ou os utilizaram durante seus estudos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Azambuja (2010) afirma que sistemas RFID são afetados pelo conflito de ondas de rádio que podem ser oriundas tanto de equipamentos quanto da reflexão dos materiais contidos no

ambiente. Alsalih et al. (2013) complementam indicando que a interferência de intermodulação é formada pelo conflito de ondas de rádio na mesma frequência, espaço e tempo.

Parlak et al. (2012) ressaltam a importância de se evitar a intermodulação entre equipamentos RFID e outros equipamentos da área hospitalar relacionados ao tratamento de pacientes. Porém Mehrjerdi (2010) relata que a maior ocorrência de interferência de intermodulação com equipamentos RFID em ambientes hospitalares está vinculada a sistemas de comunicação sem fio como, por exemplo, a telefonia celular.

Cheung e Choi (2010) afirmam que se deve restringir o uso de materiais condutores, como metais, perto de antenas de leitores RFID, pois estes materiais podem refletir as ondas de rádios oriundas dos leitores causando assim a interferência de intermodulação no próprio leitor que originou a transmissão ou em outros leitores próximos. Nesse contexto, Lee et al. (2013) informam que, quando o conflito de ondas de rádio é originado de dois ou mais equipamentos RFID, este conflito recebe o nome de “colisão”.

Segundo Roussos et al. (2009), em ambientes com muitos equipamentos RFID, a colisão pode aumentar a taxa de erro de leitura em até 20%. Razavi et al. (2012) relatam que a taxa de erro influencia negativamente a capacidade e velocidade de identificação das Tag's, e isso, segundo Lima et al. (2013) e Cha et al. (2006), é um dos principais empecilhos para a difusão da tecnologia RFID.

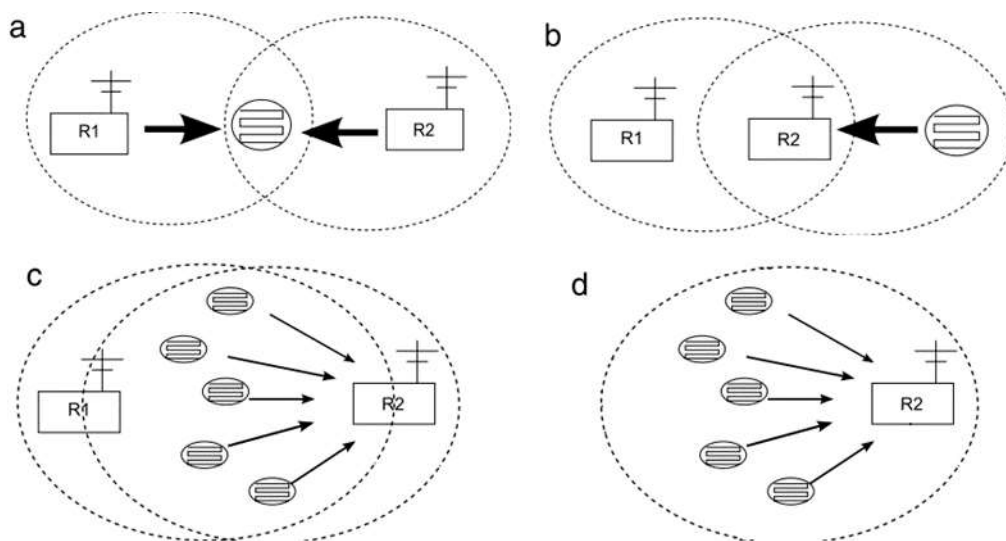
Carbunar et al. (2009) relatam que o fenômeno da colisão de sinais em sistemas RFID pode se originar de várias maneiras, como:

- (i). Interferência de múltiplos leitores, que ocorre quando mais de um leitor tenta ler a mesma *tag* em simultâneo, como demonstrado na Figura 1a (PAPAPOSTOLOU et al. 2001).
- (ii). Interferência de leitor para leitor, que ocorre quando um sinal mais forte a partir de um outro leitor interfere com o sinal refletido fraco de uma etiqueta como ilustrado na Figura 1b (LI et al. 2013).
- (iii). Interferência de sobrecarga de leitores, que está vinculada com o balanceamento de carga entre leitores. A Figura 1c evidencia que as *tags* respondem ao leitor R2, uma de cada vez. Isso acontece quando R2 inicia o processo de leitura em primeiro lugar utilizando um algoritmo anticolisão entre *tags*. Como resultado, o leitor R2 pode identificar um número significativo de tags e, portanto, é responsável por monitorar essas *tags* no futuro. Por outro lado, dado que os códigos sejam silenciados após a

identificação, R1 só pode ficar com algumas *tags* para identificar (CHIN et al., 2011), e

- (iv). Interferência de *tag* para *tag*, que acontece quando várias *tags* transmitem dados ao mesmo tempo para o mesmo leitor, o que provoca a incapacidade do leitor a reconhecer os dados como mostra a Figura 1d (HSU et al., 2011).

Figura 1 – Colisão de: (a) múltiplos leitores; (b) leitor para leitor; (c) sobrecarga de leitores; e (d) *tag* para *tag*



Fonte: Adaptado de Hsu et al. (2011) e Chin et al. (2011)

Zheng et al. (2013) informam que foram desenvolvidos muitos protocolos anticisão baseados basicamente em quatro tipos de procedimentos:

- i. *Space Division Multiple Access (SDMA)*, são algoritmos que visam controlar o acesso entre Leitores e tags RFID por meio da distribuição das ondas de rádio em áreas específicas; normalmente esses algoritmos se utilizam de instrumentos matemáticos ou de simulação para estabelecer um posicionamento, direcionamento e foco de antenas acopladas aos leitores RFID em uma determinada área (SHIH et al. 2006).
- ii. *Frequency Domain Multiple Access (FDMA)*, consiste em algoritmos que se baseiam na transmissão da informação em canais, ou seja, pequenas faixas de frequências dentro do espectro de transmissão; esses algoritmos tornam-se muito ineficientes quando submetidos a ambientes com mais leitores que o número de canais disponíveis (DELGADO et al. 2013).

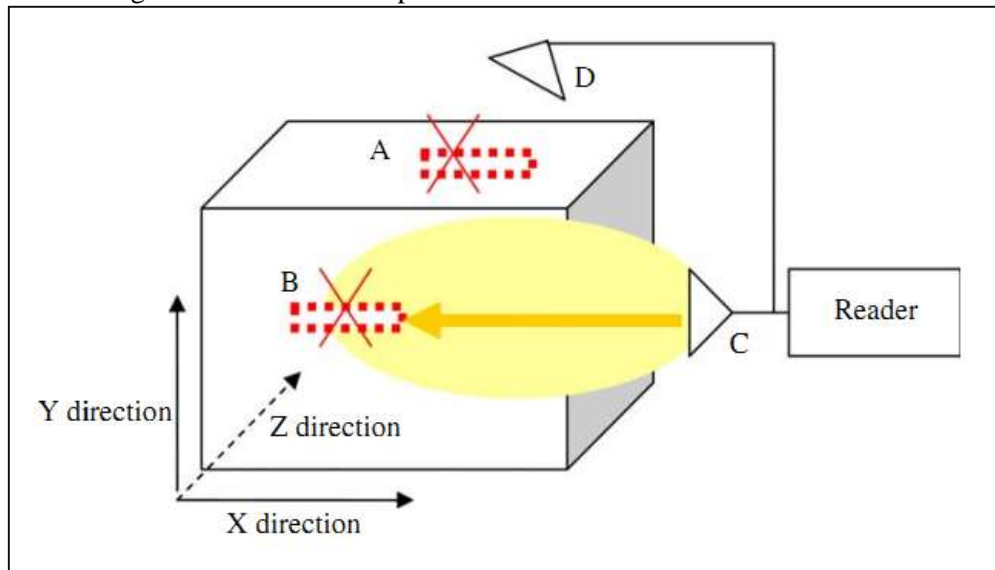
- iii. *Time Domain Multiple Access* (TDMA), são algoritmos que se baseiam no conceito de slot de tempo, ou seja, reservam determinado tempo para cada equipamento realizar sua transmissão (SAYEED et al. 2011), e
- iv. *Code Division Multiple Access* (CDMA), se baseia na transmissão realizada ao longo de várias frequências em vez de uma, o que torna muito difícil para um receptor não detectar. As informações são codificadas e transmitidas em uma sequência pseudoaleatória ou ortogonal o que permite que vários equipamentos transmitam e recebam as informações (MAINA et al., 2007).

Cha et al. (2006) desenvolveram um algoritmo baseado em uma estratégia denominada *Distributed Power control* (DPC) que se baseia no controle dinâmico da potência aplicada sobre as antenas. Outras pesquisas como a de Chen et al. (2010), Oztekin et al. (2010), Saygin et al. (2010), Chenn et al. (2011), Papapostolou et al. (2011), Jimenez et al. (2013) e Alsalihi et al. (2013), e também relatam a utilização do controle de potência sobre as antenas dos leitores RFID como forma de minimizar a colisão entre os equipamentos RFID. Em Namboodiri et al. (2010), em suas conclusões, destacam que o controle do nível de potência e o direcionamento da potência sobre uma área específica são tecnologias emergentes em sistemas RFID.

Penttilä et al. (2006) esclarecem que o controle de potência exercido por leitores RFID é apenas uma das variáveis que influenciam a troca de energia entre *tag* e leitores. Já para Wu et al. (2006) as antenas acopladas as *tags* e leitores são a chave do sucesso da tecnologia RFID, o autor explica que a potência transmitida entre a *tag* e o leitor está diretamente relacionada com a posição relativa destes equipamentos entre si, afirmando ainda que caso as antenas estejam alinhadas perpendicularmente entre si não haverá transferência de potência entre as antenas.

A Figura 2 evidencia a incapacidade da antena “C” em ler as *tags* “A” e “B” por estarem todas perpendicularmente alinhadas, no entanto a antena “D” consegue realizar a leitura das *tags* por possuir um alinhamento adequado com as antenas contidas nas *tags* “A” e “B” (WU et al. 2006). Neste contexto Huang e Chang (2011) esclarecem que quando o sistema RFID é realizado de forma que exista movimento relativo entre as antenas dos Leitores e das *tags* a probabilidade de leitura aumenta, pois, a probabilidade das antenas ficarem em desalinhamento durante ou após o movimento diminuem.

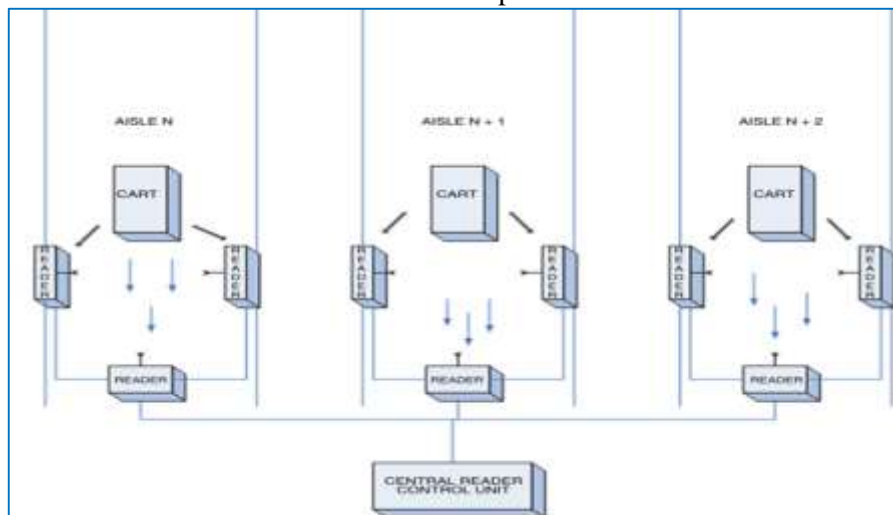
Figura 2 – Influência do posicionamento de antenas RFID na leitura



Fonte: Wu et al. (2006)

Maina et al. (2007) afirmam que não se deve esperar que clientes posicionem os produtos em um carrinho de forma que as antenas das *tags* fiquem corretamente posicionadas em relação as antenas dos leitores. Por isso, esse autor recomenda que cada local de inspeção contenha múltiplas antenas de leitores posicionadas de forma a permitir a leitura das *tags* em qualquer posição dentro do carrinho. Para evitar a colisão de sinais entre as antenas dos leitores, ainda Maina et al. (2007) recomendam que seja utilizada uma estratégia do tipo TDMA centralizada, na qual, uma unidade de controle sequencia o funcionamento dos leitores de forma a minimizar a colisão entre leitores. A Figura 3 representa está estratégia.

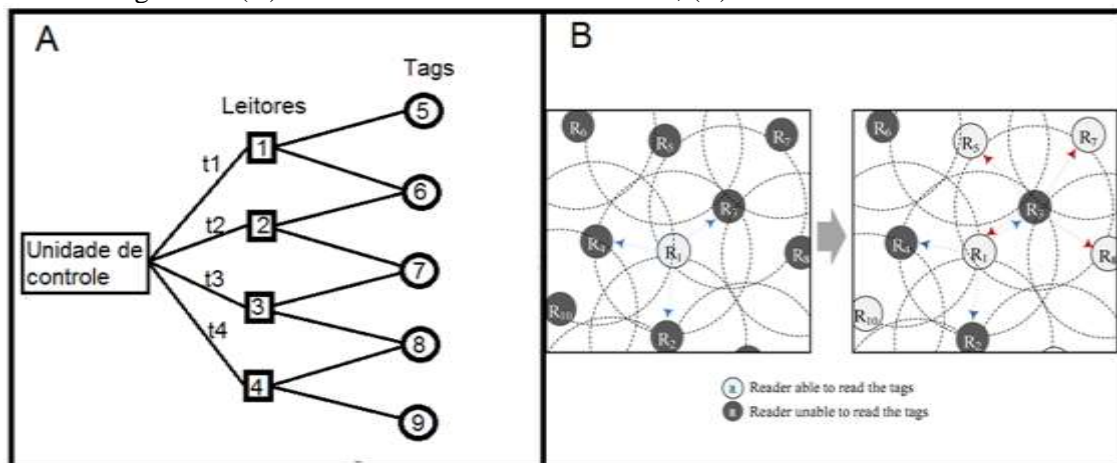
Figura 3 – Sistema de leitura de carrinhos de transporte com antenas em alinhamento distinto



Fonte Maina et al. (2007)

Dong et al. (2008) relatam em seus estudos sobre sistemas que utilizam algoritmos de controle centralizado, que este tipo de controle permite que os leitores sejam controlados de forma tanto a minimizar o efeito de colisões quanto obter mais informações. Como, por exemplo, o posicionamento da *tag* mostrado na Figura 4a, onde o sistema de controle sequencia o acionamento dos leitores em uma estratégia do tipo TDMA. De forma que no *slot* 1 identifique as *tags* 5 e 6 enquanto que no Slot 2 sejam identificadas as *tags* 6 e 7 pelo leitor 2. Com isso a unidade de controle identifica que a *tag* 5 está no centro da zona de interrogação do leitor 1 enquanto que a *tag* 7 está localizada no centro da zona de interrogação do leitor 2. Já a posição da *tag* 6 é reconhecida pela unidade de controle por estar na área de sobreposição das áreas de interrogação dos leitores 1 e 2 (DONG et al. 2008).

Figura 4 – (A) Unidade de controle centralizado; (B) Controle descentralizado



Adaptado de Dong et al. (2008) e Ko et al. (2010)

No entanto, Ko et al. (2010) apresentam protocolos descentralizados que, como mostra a Figura 4b, verificam a existência de outros leitores em sua área de interrogação de forma a identificar os parâmetros necessários para realizarem sua autoconfiguração. Neste contexto Delgado et al. (2013) esclarecem que, apesar dos protocolos baseados em algoritmos centralizados possuírem alta eficiência em relação a anticollisão, eles requerem alto investimento em sua implantação, pois cada ambiente requer um ajuste adequado do sistema. Por outro lado, sistemas com protocolos descentralizados apresentam um menor tempo de implantação e adequação a alterações ambientais quando comparados a sistemas centralizados.

Costin et al. (2012) ressaltam que, em uma implantação de sistema RFID descentralizado na área de construção civil, foi necessária a criação de um algoritmo para o tratamento dos dados

depois de coletados. Pois, conforme os autores, os leitores reportaram inconsistências como: a identificação de pessoas e objetos simultaneamente em andares adjacentes.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

O Quadro 1 apresenta uma síntese das publicações, ordenada em ordem cronológica, utilizada durante a revisão da literatura. Este Quadro vincula cada publicação ao país em que foi realizada a pesquisa e a área de atuação ou setor que a pesquisa se desenvolveu.

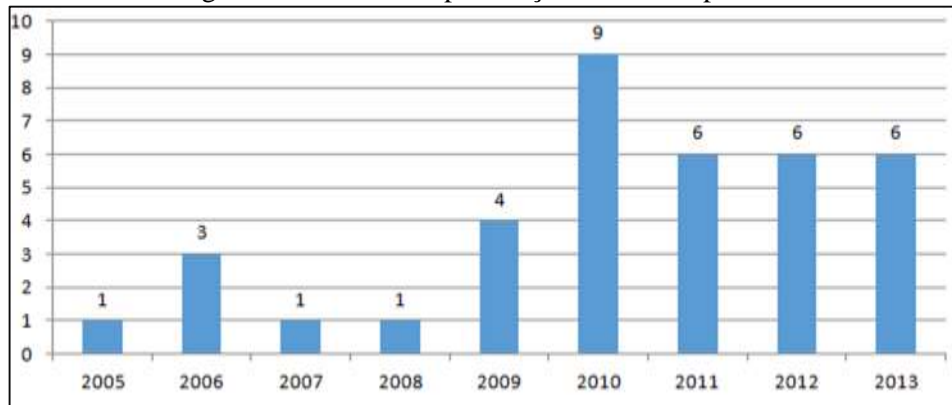
Quadro 1 – Síntese das publicações no período de 2005 a 2013

Ano	Autor	País	Área de Atuação / Setor
2005	KATARIINA, P. Et al.	Finlândia	Simulação
2006	N.C. Wu; M. A. Nystrom et al.	Taiwan	Melhoria de Algoritmo
2006	SHIP, D.H.; SUN, P.L.S. et al.	Mais de um	Classificação de Algoritmo
2006	N.C. Wu; M. A. Nystrom et al.	EUA	Melhoria de Algoritmo
2007	MAINA, J. Y.; MICKLE, M. H. Et al.	EUA	Cadeia de suprimentos
2008	DONG, Q.; SHUKLA, A. Et al.	EUA	Simulação
2009	WANG, C.; DANESHMAND, W. Et al.	EUA	Melhoria de Algoritmo
2009	ROUSSOS, G.; KOSTAKOS, V.	Mais de um	Computação
2009	CARBUNAR, B. Et al.	EUA	Simulação
2010	AZAMBUJA, C. A.; JUNG, C. F. Et al.	Brasil	Simulação
2010	H.H Cheung; S.H. Choi.	Hong Kong	Cadeia de suprimentos
2010	CAN SAYGIN; BALAJI NATARAJAN.	Hong Kong	Indústria de aviação
2010	YAHIA ZARE MEHRJERDI.	Iran	Saúde
2010	A. OZTEKIN; F. M. PALOUD et al.	EUA	Saúde
2010	CHAO CHEN	EUA	Saúde
2010	CHEN, H; ZHU, Y. Et al.	China	Simulação
2010	NAMBOODIRI, V.; PENDSE, R.;	EUA	Simulação
2010	KO, D.; KIM, B. Et al.	Coreia	Simulação
2011	HUANGA, H.P.; CHANG, Y.C.	Taiwan	Cadeia de suprimentos
2011	CHENN, H.; ZHU, Y. Et al.	China	Simulação
2011	MEHRJERDI, Y. Z.	Iran	Cadeia de suprimentos
2011	PAPAPOSTOLOU, A.; CHAOUCHI, H.	França	Simulação
2011	HSU, C.H.; YUAN, P. C.	Taiwan	Simulação
2011	CHIN, K.W.; KLAIR, D.	Austrália	Simulação
2011	SAYEED, S. I.; KIN, Y. S. Et al.	Coreia	Simulação
2012	RAZAVI, S.N.; MONTASER, A. Et al.	Canadá	Construção civil
2012	LEE, E. K.; OH, S.Y. et al.	EUA	Automação
2012	JIN, C.; CHO, S.H.	Coreia	Simulação
2012	CHOI, J.S.; LEE, H. Et al.	Taiwan	Cadeia de suprimentos
2012	PARLAK, S.; SARCEVIC, A. Et al.	EUA	Saúde
2012	COSTIN, A.; PRADHANANGA, N. Et al.	EUA	Construção civil
2013	LIMA, M. K; BAHR, W. Et al.	Hong Kong	Cadeia de suprimentos
2013	JIMENEZ, C.; PERES, S.D. et al.	França	Indústria de aviação
2013	LI, Z.; HE, C.	China	Melhoria de Algoritmo
2013	ALSALIH, W.; ALI, K. Et al.	EUA	Melhoria de Algoritmo
2013	DELGADO, M.V.B.; MARINO, P.P.	Espanha	Simulação
2013	ZHENG, J. L.; QIN, T.F. et al.	China	Simulação

Fonte: Elaborado pelos autores

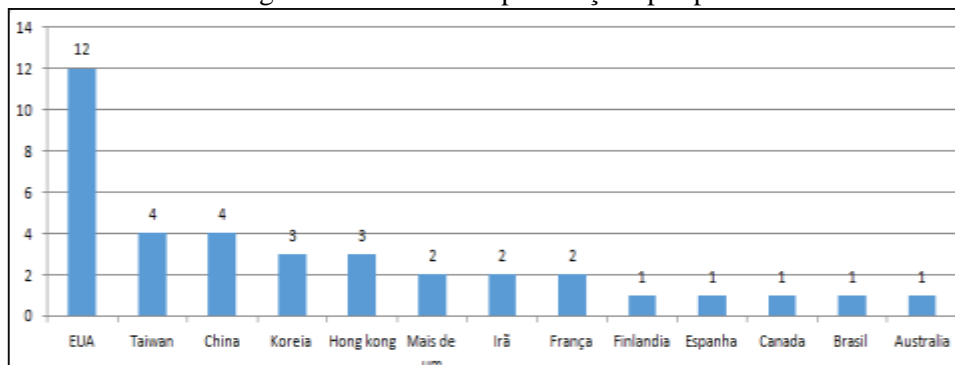
A Figura 5, mostra que 49% das publicações selecionadas ocorreram nos últimos três anos o que pode indicar um aumento da importância dos estudos da interferência de intermodulação em sistemas RFID.

Figura 5 – Número de publicações realizada por ano



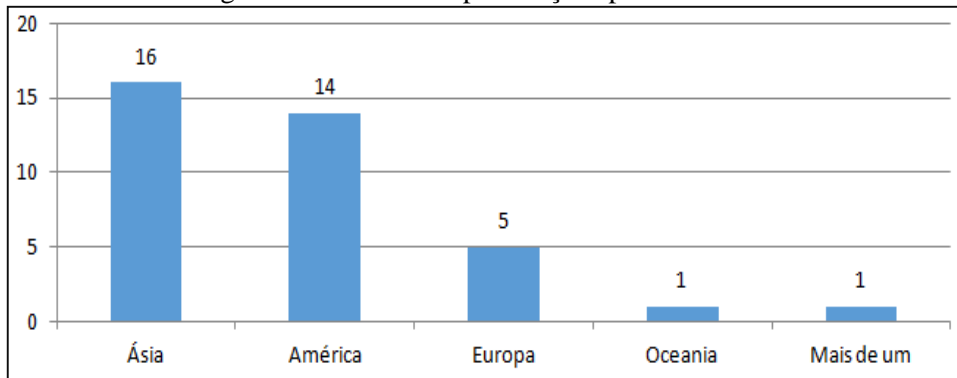
Existe o predomínio do número de publicações realizadas pelos Estados Unidos da América que detém 32% das publicações selecionadas (Figura 6). Considerando os cinco países que mais publicaram artigos selecionados, totaliza-se 70% das publicações.

Figura 6 – Número de publicações por país



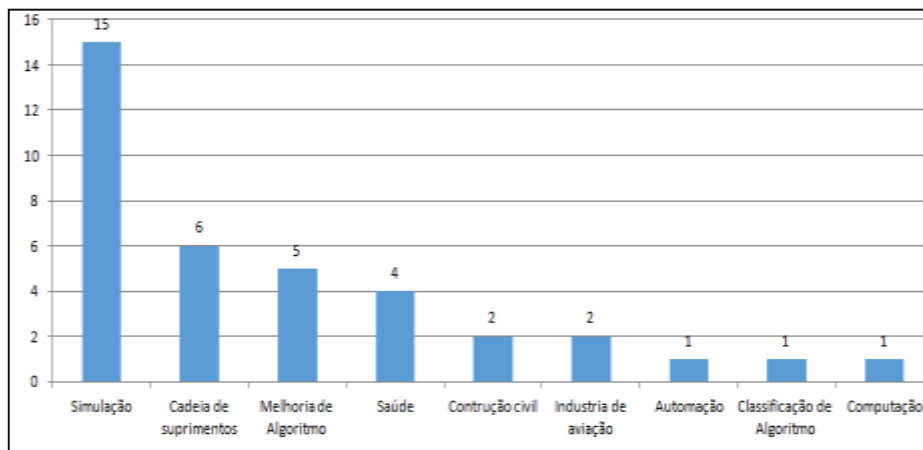
No entanto a Ásia é o continente que mais detém publicações selecionadas formando um total de 43% (Figura 7).

Figura 7 – Número de publicações por continente



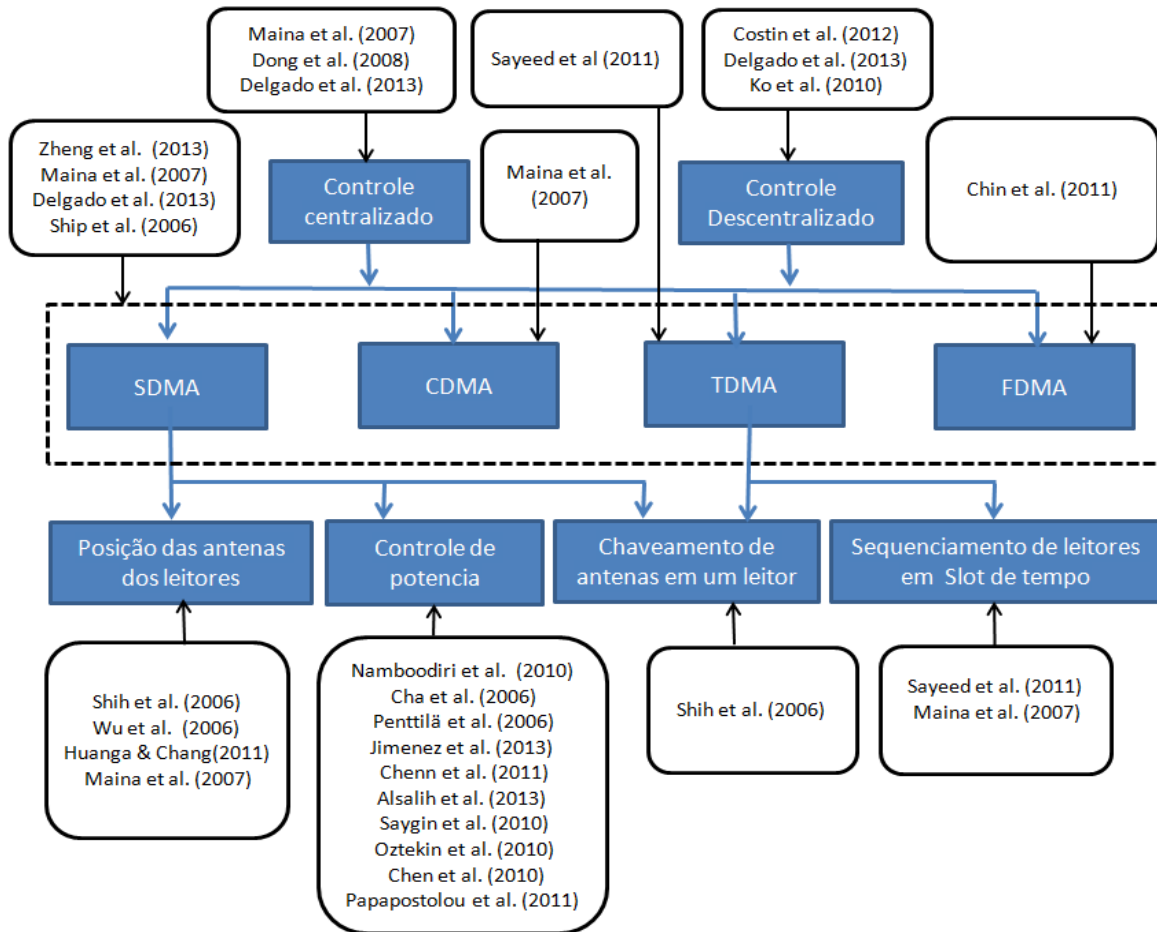
Uma observação importante está relacionada com o foco das publicações selecionadas, a Figura 8, evidencia que 40,5% destas pesquisas estão relacionadas com algum aspecto da simulação. Convém ressaltar que artigos, como: (i) Dong et al. (2008); (ii) Ko et al. (2010); e (iii) Hsu et al. (2011), utilizam simulação para comprovar seus resultados.

Figura 8 – Número de publicações por área de aplicação



A Figura 9 relaciona os tipos de classificação de algoritmos anticolisão com as publicações em que foram citadas, consolidando os vários tipos de classificação.

Figura 9 – Classificação dos tipos de algoritmos anticolisão segundo as publicações



Fonte: Elaborado pelos autores

Nesta Figura 9 fica evidenciada a importância do controle de potência dos leitores em sistemas anticolisão. Essa ênfase deve-se ao grande número de publicações que relatam a utilização desse tipo de controle, que representa 27% das publicações selecionadas para esta pesquisa.

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma revisão sistemática que reúne contribuições sobre o desenvolvimento de soluções para a redução do efeito da interferência de intermodulação entre antenas conectadas a leitores RFID. A busca dos artigos foi realizada nas plataformas *IEEE Periodicals*, *Emerald Management e-Journals*, *SciVerse ScienceDirect (Elsevier)* e *SciVerse Scopus (Elsevier)*, sendo selecionados 37 trabalhos.

Percebe-se que 32% das publicações estão concentradas nos Estados Unidos da América e 38% em outros quatro países: (i) Taiwan, (ii) China, (iii) Coreia e (iv) Hong Kong. Desta

forma, infere-se que existe uma concentração de desenvolvimento de tecnologia voltada a redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID, pois 70% das publicações estudadas são oriundas de apenas cinco países.

Identificou-se que o estudo de tecnologias voltadas a redução de interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID é recente, pois 49% das publicações selecionadas ocorreram nos últimos três anos. Além disso, 40% dos artigos utilizaram dados obtidos por meio de simulação e 43% tiveram seu foco na adequação ou criação de soluções para setores ou áreas específicas. Esses fatos podem indicar que esta parte da tecnologia RFID ainda está em uma fase inicial do desenvolvimento e que necessita de um estudo especificamente voltado para medir o seu grau de desenvolvimento.

Verificou-se que 27% das pesquisas selecionadas utilizaram algum método para controle da potência fornecida pelo leitor a antena. Porém apenas Wu et al. (2006) relatam em suas conclusões a necessidade de utilizar, em pesquisas futuras, as características das antenas, como a capacidade de direcionar a energia em uma área específica, para reduzir a intermodulação entre as antenas acopladas a leitores RFID. Portanto, a pesquisa permitiu a criação de um diagrama que concentra diversos tipos de classificação de algoritmos anticollisão relatados nas pesquisas selecionadas para este trabalho. Este diagrama facilita a futuros estudos classificar os métodos utilizados em seus trabalhos para redução dos efeitos da interferência de intermodulação entre antenas de leitores RFID.

ANALYSIS OF RESEARCH ON INTERMODULATION AMONG RFID READER ANTENNAS APPLIED TO PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT: This paper presents a systematic review. It aimed and analyze the contributions by research focused on effects of interference caused by intermodulation. That is, among the RFID reader antennas coupled (Radio-Frequency Identification). For this, 37 publications of the platforms were selected: IEEE Periodicals, Emerald Management e-Journals, SciVerse ScienceDirect (Elsevier), and SciVerse Scopus (Elsevier). It has been found that there is a concentration of 70 percent of publications five countries, and these publications are recent, 49 percent in the last three years. In addition, it was identified that 27 percent of the selected search using a power control system on the antennas based on RFID readers. However, it found only one study that recommends to develop antennas. Which allow the power distribution control over a specific area. As a main result, it presents a diagram brings together hierarchically organizes the types of reported anti-collision algorithms in selected research.

Keywords: RFID. Interference. Antenna. Reader.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSALIH, W.; ALI, K.; HASSANEIN, H. A power control technique for anti-collision schemes in RFID systems. **Computer Networks**, v. 57, n. 9, p. 1991-2003, 2013.

AZAMBUJA, M.C.; JUNG, C.F.; CATEN, C.S.T.; HESSEL, F.P. RFID-Env: Methods and software, simulation for RFID environments. **Business Process Management Journal**, v. 16 n. 6, p.1014-1038, 2010.

CARBUNAR, B.C.; RAMANATHAN, K.; KYUTÜRK, M.; JAGANNATHAN, S.; GRAMA, A. Efficient tag detection in RFID systems. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 9, n. 2, p. 180-196, 2009.

CHA, K.; ZAWODNIOK, M.; RAMACHNDRAN, A.; SARANGAPANI, J. Interference mitigation and read rate improvement in rfid-based network-centric environments. **Sensor Review**, v. 26 n. 4, p. 318-325, 2006.

CHANG, Y.S.; SOM, M.G.; OH, C.H. Desing and Implementation of RFID based air-cargo monitoring system. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 1, p. 41-52, 2011.

CHEN, C. Design of a child localization system on rfid and wireless sensor networks. **Journal of Sensors**, p. 1-8, 2010.

CHEN, H.; ZHU, Y.; HU, K. Multi-colony bacteria foraging optimization with cell-to-cell communication for RFID network planning. **Applied Soft Computing**, v. 10, n. 2, p. 539-547, 2010.

CHENG, J.; CHO, S.H. A robust baseband demodulator for ISO 18000-6C RFID reader systems. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, p. 1-12, 2012.

CHENN, H.; ZHU, Y.; HU, K.; KU, T. RFID network planning using a multi-swarm optimizer. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 34, n. 3, p. 888-901, 2011.

CHEUNG, H.H.; CHOI, S.H. Implementation issues in RFID-Based anti-counterfeiting systems. **Computers in Industry**, v. 62, n. 7, p. 708-718, 2011.

CHIN, K.W.; KLAIR, D. E2MAC: an energy efficient MAC for RFID-Enhanced wireless sensor networks. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 7, n. 2, p. 241-255, 2011.

CHOI, J.S.; LEE, R.; ENGELS, D.W.; ELMASRI, R. Passive UHF RFID-Based localization using detection of tag interference on smart shelf. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics — Part C: Applications and Reviews**, v. 42, n. 2, p. 268-275, 2012.

COSTIN, A.; PARADHANANGA, N.; TEIZER, J. Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project. **Automation in Construction**, v. 24, p. 1-15, 2012.

DELGADO, M.V.B.; FERRERO, R.; GANDINO, F.; MARIANO, P.P.; REBAUDENGO, M. A geometric distribution reader anti-collision protocol for rfid dense reader environments. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 10, n. 2, p. 296-306, 2013.

DOMDOUZIS, K.; KUMAR, B.; ANUMBA, C. Rádio-Frequency Identification (RFID) applications: a brief introduction. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 4, p. 350-355, 2006.

DONG, Q.; SHUKLA, A.; SHRIVASTAVA, V.; AGRAWAL, D.; BANERJEE, S. Load balancing in large-scale RFID systems. **Computer Networks**, v. 52, n. 9, p. 1782-1796, 2008.

HIGGINS, J.P.T.; GREEN, S. Cochrane, cochrane handbook for systematic reviews of interventions. Version 5.10. 2011. Disponível em: <www.cochrane-handbook.org>. Acesso em: Março 2013.

HSU, C.C.; YUAN, P.C. The design and implementation of an intelligent deployment system for RFID readers. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 10506-10517, 2011.

HUANGA, H.P.; CHANG, Y.T. Optimal layout and deployment for RFID systems. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 1, p. 4-10, 2011.

JIMENEZ, C.; PÉRÈS, S.D.; FEUILLEBOIS, C.; PAULY, E. Optimizing the positioning and technological choices of RFID elements for aircraft part Identification. **European Journal of Operational Research**, v. 227, n. 2, p. 350-357, 2013.

JUELS, A. RFID security and privacy: a research survey. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 24, n. 2, p. 1-19, 2006.

JUNG, C.F. Análise de artigos de revisão e elaboração de artigos científicos. Edição 2013. Disponível em: <www.metodologia.net.br>. Acesso em: 1 out. 2013.

KO, D.; KIM, B.; AN, S. Research on anti-reader collision protocols for integrated RFID-WSNs. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, v. 4, n. 5, p. 776-798, 2010.

LAZARO, A.; GIRBAU, D.; VILLARINO, R. Effects of Interferences in UHF RFID systems. **Progress In Electromagnetics Research, PIER 98**, p. 425-443, Spain, 2009.

LEE, E. K.; OH, S.Y.; GERLA, M. RFID assisted vehicle positioning in VANETs. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 8, n. 2, p. 167-179, 2012.

LI, E.; CHUNHUI, H. Optimal scheduling-based RFID reader-to-reader collision avoidance method, using artificial immune system. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 5, p. 2557-2568 , 2013.

LIM, M.K.; BAHR, W.; LEUNG, S.C.H. RFID in the warehouse: a literature analysis (1995-2010) of its applications, benefits, challenger and future trends. **International Journal Production Economics**, v. 145, n. 1, p. 409-430 , 2013.

MAINA, J.Y.; MICKLE, M.H.; LOVELL, M.R.; SCHAEFER, L.A. Application of CDMA for anti-collision and increased read efficiency of multiple RFID tags. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 26, p. 37-43, 2007.

MEHRJERDI, Y.Z. RFID: The big player in the libraries of the future. **The Electronic Library**, v. 29, n. 1, p. 36-51, 2011.

- MEHRJERDI, Y.Z. RFID-enabled healthcare systems: risk-benefit analysis. **International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing**, v. 4, n. 3, p.282-300, 2010.
- MOTAMEDI, A.; SOLTANI, M.; HAMMAD, M. Localization of RFID-equipped assets during the operation phase of facilities. **Advanced Engineering Informatics**, v. 27, n. 4, p. 566-579, 2013.
- NAMBOODIRI, V.; PENDSE, R. Bit level synchronized mac protocol for multi-reader RFID networks. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, 2010.
- OZTEKIN, A.; PAJOUH, F.M.; DELEN, D.; SWIM, L.K. An RFID network design methodology for asset tracking in healthcare. **Decision Support Systems**, v. 49, n. 1, p. 100-109, 2010.
- PAPAPOSTOLOU, A.; CHAOUCHI, H. RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 34, n. 3, p. 902-913, 2011.
- PARK, K.; SO, K. C.; NAM, E.; KYUNGDOO, T. Perceptions of RFID technology: a cross-national study. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n. 5, p. 682-700, 2010.
- PARLAK, S.; SARCEVIC, A.; MARSIC, I.; BURD, R.S. Introducing RFID technology in dynamic and time-critical medical settings requirements and challenges. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 45, n. 5, p. 958-74, 2012.
- PENTTILÄ, K. Rádio Frequency Technology for automated manufacturing and logistics control. Part 2: RFID antenna utilisation in industrial applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 31, n. 1, p. 116-124, 2006.
- RAZAVI, S. N.; MONTASER, A.; MOSELHI, O. RFID deployment protocols for indoor construction. **Construction Innovation**, v. 12, n. 2, p. 239-258, 2012.
- REN, Z.; ANUMBA, C.J.; TAH, J. RFID-facilitated construction materials management (RFID-CMM): a case study of water-supply project. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 2, p. 198-207, 2011.
- ROUSSOS, G.; KOSTAKOS, V. RFID in pervasive computing: state-of-the-art and outlook. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 5, n. 1, p. 110-131, 2009.
- SAYEED, S.I.; KIM, S.Y.; YANG, H.; YOOK, J.G. A Solution to the RFID reader interference problem using adaptive beam-forming approach. **IETE Technical Review**, v. 28, n.1, p. 17-28, 2011.
- SAYGIN, C.; NATARAJAN, B. RFID-based baggage-handling system design. **Sensor Review**, v. 30, n. 4, p. 324-335, 2010.
- SHIH, D.H.; SUN, P.L.; YEN, D.C.; HUANHG, S.M. Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols. **Computer Communications**, v. 29, n. 11, p. 2150-2166, 2006.

TRAPPEY, C.V.; WU, H.; DUTTA, Y.; TAGHABONI, F. Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 1, p. 53-64, 2011.

WANG, C.; DANESHMAND, M.; SOHRABY, K. Optimization of tag reading performance in generation-2 RFID protocol. **Computer Communications**, v. 32, n. 11, p. 1346-1352, 2009.

WANG, D.; IP, W.H. Review on modeling and optimization problems about RFID technology and applications. In: 25th CHINESE CONTROL AND DECISION CONFERENCE, p. 1258-1263, 2013.

WANG, L.C. Enhancing construction quality inspection and management using RFID technology. **Automation in Construction**, v. 17, n. 4, p. 467-479, 2008.

WU, N.C.; NYSTROM, M.A.; LIN, T.R.; YU, H.C. Challenges to global RFID adoption. **Technovation**, v. 26, n. 12, p. 1317-1323, 2006.

YANG, L.; HAN, J.; QI, Y.; WANG, C.; GU, T.; LIU, Y. Season: shelving interference and joint identification in large-scale RFID systems. In: **Proceedings IEEE**, 3092-3100, 10-15 April, 2011.

ZHENG, J.L.; QIN, T.F.; NI, G.N. Tree-based backoff protocol for fast RFID tag identification. **The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications**, v. 20, n. 2, p. 37-41, 2013.

ZHU, L.; YUM, T.; SHING, P. A critical survey and analysis of RFID anti-collision mechanisms. **IEEE Communications Magazine**, 214-221, 2011.

Originals recebidos em: 12/09/2014

Aceito para publicação em: 11/09/2015