

# A Power Control and Anticollision Mechanism for RFID Systems

W. C. Lucena Filho, L. C. Cordeiro, W. S. da Silva Júnior and C. B. Carvalho

**Abstract**— RFID (Radio Frequency Identification) applications require identification of large number of tags, which results in increased collisions and degradation in the performance of traditional DFSA (Dynamic Frame slot ALOHA) algorithms. This paper proposes a power control mechanism to estimate the amount of tags in RFID networks. The mechanism is based on the division of the interrogation zone in sub-areas called clusters. This division is used to interrogate in a single slot all tags of a cluster, perform measurements of RSSI and, with it, estimate the amount of tags per cluster. The mechanism is simulated and evaluated using our own simulator developed in C/C++ programming language. We compared the results of number of slots, identification time and energy consumption with that obtained from the use of the optimal DFSA algorithm and Q algorithm of the EPCglobal standard. From the simulation results, one can see that the proposed mechanism provides performance 99% close to the ideal DFSA in dense networks, where there are large amount of tags.

**Keywords**— Power Control, Radio Frequency Identification – RFID, Clustering, Anti-collision Mechanism

## I. INTRODUÇÃO

UM sistema de identificação de objetos por rádio RFID é composto basicamente por um servidor, leitor(es) e etiquetas RFID [1][2]. No processo de leitura do RFID é necessário que um algoritmo anticollision evite que as etiquetas respondam simultaneamente à interrogação do leitor. O algoritmo anticollision mais utilizado é o DFSA (*Dynamic Framed Slotted ALOHA*) devido a simplicidade e baixo custo computacional. O desempenho ótimo do algoritmo DFSA, denominado DFSA ideal, ocorre quando o tamanho do quadro TDMA (*Time Division Multiple Access*) é igual à quantidade de etiquetas não lidas [3]. Uma vez que no processo de leitura, normalmente não se sabe a quantidade exata de etiquetas, o algoritmo DFSA utiliza um estimador para obter desempenho mais próximo do ótimo. Atualmente, as aplicações têm demandado a identificação de grandes quantidades de etiquetas, o que ocasiona um aumento das colisões e, conseqüentemente, a degradação no desempenho dos algoritmos DFSA tradicionais. Este trabalho propõe um mecanismo de controle de potência para estimar a quantidade de etiquetas em redes RFID. O mecanismo baseia-se na divisão da área de interrogação em subáreas ou *clusters*. O mecanismo interroga em um único *slot* todas as etiquetas de um *cluster*, realiza medições de RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) das

etiquetas e estima a quantidade de etiquetas por *cluster*. O mecanismo é avaliado utilizando-se um simulador próprio desenvolvido em linguagem C/C++. Neste artigo comparam-se os resultados de quantidade de *slots* e energia consumida, com o obtido a partir da utilização dos algoritmos DFSA ideal e algoritmo padrão *Q* da norma EPCglobal [4][5]. Em função dos resultados percebe-se que o mecanismo proposto apresenta desempenho de leitura 99% próximo do DFSA ideal em redes com grande densidade de etiquetas. Em relação ao algoritmo *Q*, percebe-se a melhoria de 6,5% no desempenho. Verifica-se também redução no consumo de energia do leitor em torno de 63% quando comparado ao DFSA ideal. Para expor estes assuntos, organiza-se o artigo da seguinte maneira: a Seção II lista os trabalhos relacionados; a Seção III faz breve apresentação da teoria a respeito dos protocolos anticollision para RFID; a Seção IV apresenta o modelo de simulação e o mecanismo proposto; a Seção V avalia o mecanismo proposto comparando os resultados obtidos com o algoritmo *Q* e com mecanismo de leitura ideal; por fim, a Seção VI apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [6] apresenta-se método de controle de potência e anticollision para sistemas RFID. A zona de interrogação é dividida e interrogada separadamente por áreas chamadas *clusters*. O artigo conclui que a probabilidade de colisão é reduzida, pois a quantidade de etiquetas por *cluster* é menor que na área de interrogação como um todo. As simulações mostram que a divisão em *clusters* disponibiliza melhor desempenho em algoritmos determinísticos (em árvore) do que em algoritmos probabilísticos (ALOHA). O esquema proposto, entretanto, não considera a maior demanda por processamento dos algoritmos baseados em árvore e não propõe alteração nos algoritmos baseados em ALOHA para aproveitar as vantagens da divisão da zona de interrogação.

Em [7] é proposta solução que divide a zona de interrogação em clusters de igual tamanho e etiquetas de diferentes clusters são lidas separadamente. A solução objetiva reduzir o tamanho da zona de interrogação em áreas menores e, com isto, reduzir as colisões de etiquetas em cada zona. No artigo é proposto método para determinar a quantidade ótima de clusters a fim de reduzir o tempo de leitura de etiquetas. Contudo, o trabalho

---

W. C. Lucena Filho, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil, wdfilho@uea.edu.br

L. C. Cordeiro, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil, lucascordeiro@ufam.edu.br

W. S. da Silva Júnior, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil, waldirjr@ufam.edu.br

C. B. Carvalho, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil, ccarvalho@ufam.edu.br

*Corresponding author: C. B. Carvalho*

avalia sua proposta utilizando somente algoritmos baseados em árvore e não propõe solução para melhorar o desempenho de leitura de algoritmos do tipo ALOHA, tal como o que é utilizado pela norma 18000-6C do padrão EPC Global [4].

Os autores de [8] utilizam controle de potência para segmentar, em clusters, a zona de interrogação de um leitor RFID. Com base em [9] os autores escolhem o valor ótimo do raio de cada cluster concentrico a fim de reduzir colisões de etiquetas. Todavia em sua proposta de adaptação de algoritmo do tipo ALOHA, o artigo, não executa medições para estimar a quantidade de etiquetas e, com isso, ajustar a quantidade de slots nos quadros de leitura. Pelo contrário, a proposta de [8] supõe conhecer a quantidade de etiquetas na área total de interrogação e a quantidade de etiquetas em cada cluster a fim de determinar a quantidade de slots necessários para a leitura de etiquetas.

Em [10] é proposto método para estimar a quantidade de etiquetas baseado no RSSI durante as colisões de leitura. É elaborada equação, válida somente na codificação Manchester, para estimar a quantidade de etiquetas a partir das informações obtidas com as colisões. No entanto, este trabalho está limitado somente à codificação Manchester que não é aplicada à norma 18000-6C do padrão EPC Global [4]. Além disso, apesar da simplicidade nas medições o algoritmo apresenta um custo computacional elevado.

Em [11] é proposto um mecanismo que executa a leitura de etiquetas agrupando-as conforme sua energia de retorno ao leitor. O mecanismo inicia a leitura com o mínimo de potência e a aumenta até o maior valor possível. No entanto, o mecanismo requer a utilização de 02 (dois) leitores para a elaboração de sua proposta.

Em [12] é apresentado mecanismo de agrupamento de etiquetas por setor e com base em potência. No artigo propõe-se algoritmo que separa as etiquetas dentro da zona de interrogação em grupos (setores) que são interrogados sequencialmente. Entretanto, este mecanismo utiliza um sistema que necessita de um complexo controle das antenas.

### III. REFERENCIAL TEÓRICO

Os protocolos anticolisão podem ser baseados em algoritmos ALOHA ou em árvore. Os do tipo árvore são determinísticos, apresentam alto custo computacional e necessitam de *hardware* complexo [13]. Por outro lado, os protocolos baseados em ALOHA são probabilísticos, mais simples de implementar em *hardware*, têm menor complexidade e são capazes de se adaptar às variações na quantidade de etiquetas [6]. A seguir apresentam-se os principais algoritmos ALOHA utilizados como base.

#### A. Algoritmos baseados em ALOHA

No algoritmo ALOHA clássico, ao receber um comando de consulta do leitor, as etiquetas respondem em um tempo aleatório [14]. Se o leitor recebe a resposta de uma etiqueta corretamente, ele transmite de volta um reconhecimento ACK.

Caso contrário, significa que houve colisão e o leitor transmite um comando de negativa de reconhecimento NACK, solicitando às etiquetas que colidiram a retransmissão de seus IDs após tempo aleatório. Sistemas RFID baseados no ALOHA clássico apresentam o problema das colisões parciais que limitam o seu *throughput* a 18% [10].

O algoritmo *Slotted* ALOHA (SA) resolve o problema das colisões parciais [1] apresentando *throughput* de 36,8%, duas vezes maior que o ALOHA clássico. No SA, ao invés das etiquetas responderem em um tempo aleatório, elas transmitem somente no início de intervalos de tempo chamados *slot*. Se ocorrer colisão, as etiquetas esperam por um número aleatório de *slots* antes de retransmitirem. O ganho no desempenho do SA decorre das colisões acontecerem somente no início de cada *slot*, e não a qualquer instante como no ALOHA clássico.

A desvantagem do protocolo (SA) reside no fato das etiquetas poderem responder mais de uma vez em um ciclo de leitura. Para solucionar este problema, o protocolo *Framed Slotted* ALOHA (FSA) [13] utiliza quadros garantindo que a reposta das etiquetas aconteça somente uma vez em um ciclo de leitura.

O protocolo FSA possui quadros de tamanho fixo. Isto resulta em uma desvantagem, pois o leitor irá detectar grande quantidade de *slots* vazios quando a quantidade de etiquetas para leitura for pequena. Por outro lado, o leitor perceberá muitos *slots* com colisão quando a quantidade de etiquetas aumenta muito em comparação ao tamanho do quadro. Para reduzir este problema, o DFSA (*Dynamic Framed Slotted* ALOHA) permite ajustar o tamanho do quadro dinamicamente conforme a quantidade de etiquetas.

O DFSA é o mais utilizado dos algoritmos baseados em ALOHA [15]. Seu máximo *throughput* ocorre quando o tamanho do quadro é igual à quantidade de etiquetas restantes [3]. Existe uma grande variedade de métodos para estimar a quantidade de etiquetas não lidas em uma zona de interrogação [3][16][17][18] a fim de determinar o tamanho ótimo do quadro para algoritmos anticolisão do tipo DFSA.

Outra solução, o padrão EPCglobal Class-1 Gen2 [4][5], utiliza o protocolo anticolisão DFSA denominado *Q*. Conforme Fig. 1, seu processo de interrogação inicia com o leitor transmitindo um sinal *Continuous Wave* (CW) para energizar as etiquetas na zona de interrogação. A leitura utilizando um quadro TDMA é chamada rodada de inventário sendo composta pelos comandos *Query*, *Ack*, *QueryRep*, etc.

O comando *Query* transmite o parâmetro *Q* que determina a quantidade de *slots* de uma rodada de inventário. Ao receber o comando *Query*, as etiquetas geram um número aleatório de 0 a  $(2^Q - 1)$  e armazenam este valor em um contador de *slots*.

O contador é decrementado a cada *slot* e quando alcança o valor zero (0), a etiqueta transmite um número aleatório de 16 bits (RN16). O leitor ao receber o RN16 retorna este número em um comando *ACK*. Ao receber o mesmo RN16 transmitido, a etiqueta sabe que não houve colisão e transmite ao leitor seu EPC (*Electronic Product Code*).

A seguir, o leitor transmite o comando *QueryRep* que ao ser recebido pelas etiquetas não lidas, faz com que elas

decrementem seus contadores e, aquelas cujos contadores forem zero (0) respondem com um RN16. O comando *QueryRep* se repete conforme quantidade de *slots* indicado pelo parâmetro  $Q$ .

Para evitar *slots* vazios e *slots* com colisão, o leitor altera o parâmetro  $Q$  a cada rodada de inventário a fim de ajustar o tamanho do quadro conforme as etiquetas restantes. O algoritmo  $Q$ , mostrado na Fig. 1 [19], avalia as repostas das etiquetas, no quadro atual, e determina o próximo tamanho do quadro. O algoritmo classifica as repostas das etiquetas como *slot* vazio, *slot* com colisão e *slot* com sucesso, e ajusta o valor do parâmetro  $Q$  para o próximo comando *Query*. O leitor mantém uma variável chamada  $Q_{fp}$ , um número real, cujo valor é incrementado ou decrementado de uma constante  $C$ , caso no *slot* ocorra, respectivamente, uma colisão ou se for *slot* vazio. O parâmetro  $Q$  recebe o valor arredondado de  $Q_{fp}$  e o leitor envia outro comando *Query* com o novo valor de  $Q$ . O valor de  $Q$  se ajusta, aumentando se houver muitas colisões e reduzindo, se houver muitos *slots* vazios

Nota-se que os algoritmos baseados em ALOHA e comentados nesta seção, não utilizam a potência refletida ou a divisão da zona de interrogação em *clusters*, a fim de estimar a quantidade de etiquetas a serem identificadas por meio de um leitor RFID. Sendo assim, neste artigo e com base em [19] verificamos esta abordagem com o objetivo de reduzir a quantidade de *slots* para leitura de etiquetas e a energia consumida pelo leitor RFID.

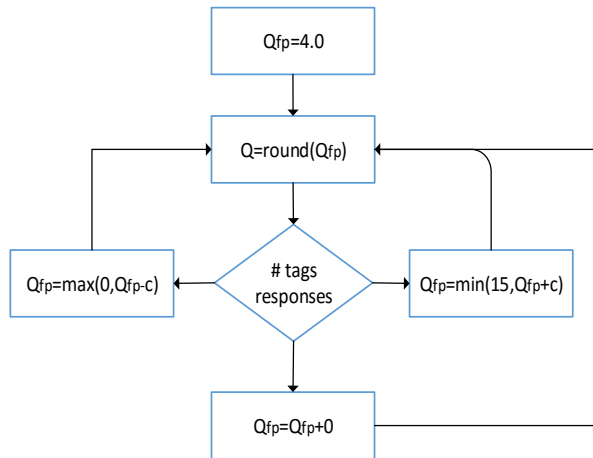


Figura 1. Algoritmo Q. Fonte [4].

#### IV. MODELO DE SIMULAÇÃO E MECANISMO PROPOSTO

Nas subseções a seguir explica-se o modelo de simulação e o mecanismo proposto, denominado *Slot* de Medição com divisão em *Cluster* (SMC).

##### A. Modelo de propagação para leitor e etiquetas

Utiliza-se o modelo de propagação no espaço livre [20] para calcular a potência recebida na antena receptora de um leitor RFID conforme (1):

$$P_{RX} = P_{TX} G_{TX} G_{RX} \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (1)$$

A potência recebida  $P_{RX}$  é calculada em função da potência transmitida  $P_{TX}$ , da distância entre as antenas  $R$ , comprimento de onda  $\lambda$  e dos ganhos das antenas transmissora  $G_{TX}$  e antena receptora  $G_{RX}$ . A Fig. 2 apresenta as potências envolvidas na comunicação entre um leitor e uma etiqueta.

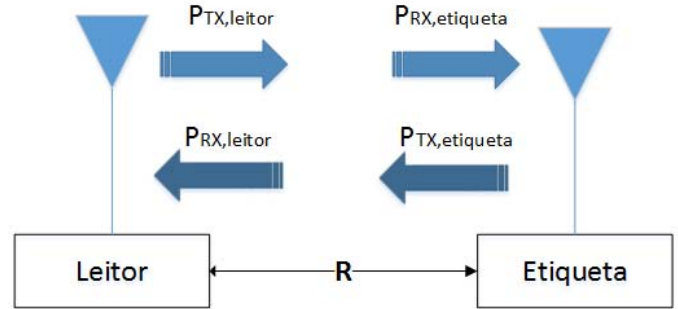


Figura 2. Sinais transmitidos entre um leitor e uma etiqueta.

Onde:

TABELA I  
VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NA COMUNICAÇÃO LEITOR E ETIQUETA

|                   |  |
|-------------------|--|
| $P_{TX,leitor}$   | Potência transmitida pelo leitor.                |
| $P_{RX,etiqueta}$ | Potência recebida na antena da etiqueta.         |
| $P_{TX,etiqueta}$ | Potência transmitida ou refletida pela etiqueta. |
| $P_{RX,leitor}$   | Potência recebida ou refletida no leitor.        |
| $R$               | Distância entre antenas do leitor e da etiqueta. |

Utiliza-se (1) para determinar a potência recebida no leitor ( $P_{RX,leitor}$ ) [21]. A perda por transmissão *backscatter* é denominada  $k$ . Logo, a expressão final é dada por (2):

$$P_{RX,leitor} = P_{TX,leitor} \cdot k \cdot G_{leitor}^2 \cdot G_{etiqueta}^2 \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^4 \quad (2)$$

##### B. Divisão em clusters e medição de RSSI

O mecanismo SMC, conforme Fig. 3, é baseado na divisão da zona de interrogação em *clusters* [6] e na medição das potências refletidas pelas etiquetas de cada *cluster*. No mecanismo utiliza-se um *slot* de medição (quadro composto de somente um *slot*) para verificar a potência de retorno das etiquetas de um *cluster*.

As larguras dos *clusters* são determinadas de acordo com a potência transmitida pelo leitor.

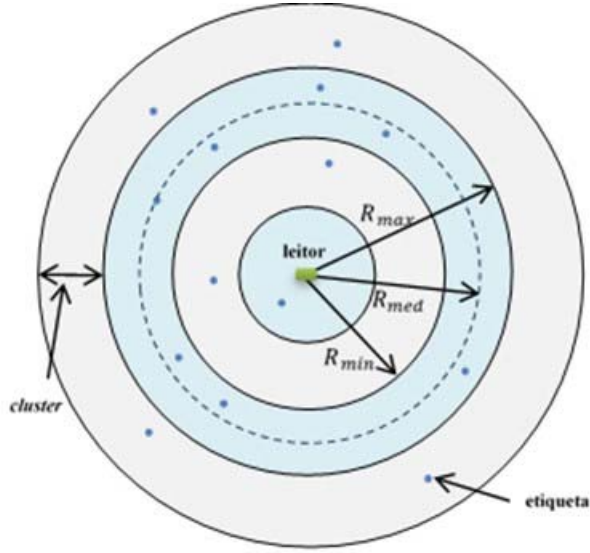


Figura 3. Zona de interrogação dividida em clusters.

A Fig. 3 apresenta um *cluster* onde está definida a distância mínima do leitor  $R_{min}$  (limite inferior do *cluster*), a distância máxima  $R_{max}$  (limite superior do *cluster*) e a distância média  $R_{med}$  do leitor, conforme (3).

$$R_{med} = \frac{R_{min} + R_{max}}{2} \quad (3)$$

De (2), derivamos (4), na qual calcula-se a potência a ser transmitida pelo leitor  $P_{cluster} = P_{TX,leitor}$  para definir o tamanho de cada *cluster*. Esta potência transmitida estabelece a distância máxima  $R_{max}$  do *cluster*. A potência é incrementada pelo leitor conforme as etiquetas dos clusters são lidas. Por exemplo, se dividirmos a zona de interrogação em 10 clusters, 10 potências  $P_{cluster}$  diferentes são necessárias para dividir a área total a ser lida em raios  $R_{max}$  de iguais tamanhos.

$$P_{cluster} = P_{TX,leitor} = \frac{P_{RXmin,leitor}}{k \cdot G_{leitor}^2 \cdot G_{etiqueta}^2} \left( \frac{4\pi R_{max}}{\lambda} \right)^4 \quad (4)$$

O mecanismo SMC estima a quantidade de etiquetas no *cluster* por meio da medição da intensidade do sinal recebido no *slot* de medição. Para avaliar o SMC, o simulador determina a potência refletida  $P_{refletida}$  (ou  $P_{RX,leitor}$ ) de cada etiqueta no *cluster* de acordo com (5), derivada de (2):

$$P_{refletida} = P_{cluster} \cdot k \cdot G_{leitor}^2 \cdot G_{etiqueta}^2 \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^4 \quad (5)$$

### C. Algoritmo Proposto

O mecanismo SMC objetiva diminuir a quantidade de slots necessários para leitura, em ambientes com alta densidade de etiquetas por meio da medição da intensidade dos sinais

refletidos. Para isto, o SMC utiliza o protocolo anticollisão DFSA e, seu fluxograma é apresentado na Fig. 4 e explicado a seguir:

1. As variáveis  $qtdClusters$  e  $clusterID$  representam, respectivamente a quantidade total de *clusters* existentes e o índice do *cluster* cujas etiquetas estão sendo lidas. Inicialmente, o leitor envia um sinal de interrogação com o tamanho do quadro igual a 1 (um) *slot* (*slot* de medição), cuja potência transmitida  $P_{cluster}$  é determinada em (4);

2. Se o valor de  $clusterID$  é menor que a quantidade de *cluster* existentes (variável  $qtdClusters$ ), existem *clusters* cujas etiquetas não foram lidas e o algoritmo passa para o passo 3. Caso contrário, o algoritmo termina;

3. O leitor solicita que todas as etiquetas do *cluster* respondam simultaneamente em um quadro de um único *slot* (*slot* de medição). Cada etiqueta transmite potência  $P_{refletida}$  dada em (5);

4. A soma das potências refletidas pelas etiquetas do *cluster* ( $\sum P_{refletida}$ ) é medida pelo leitor para estimar a quantidade de etiquetas no *cluster*. Na estimativa utiliza-se (6):

$$\text{quant. de etiquetas estimadas} = \frac{\sum P_{refletida}}{P_{refletida,media}} \quad (6)$$

Onde, propomos que  $P_{refletida,media}$  é a potência calculada considerando que todas as etiquetas estão localizadas no meio do *cluster* conforme (3).

5. Com o resultado de (6), o leitor estima a quantidade de etiquetas no *cluster*, determinando o tamanho do próximo quadro. O mecanismo SMC propõe que em cada *cluster*, a estimativa da quantidade de etiquetas seja usada como parâmetro para o algoritmo anticollisão DFSA. Uma vez que as etiquetas são interrogadas e identificadas, elas não responderão as interogogações futuras, sejam estas interogogações ocorridas no *cluster* atual ou nos *clusters* subsequentes. Para que isto ocorra, após uma etiqueta ser identificada, ela é colocada em modo sleep pelo leitor [6].

6. Caso todas as etiquetas de um *cluster* sejam lidas, passa-se ao passo 7. Caso contrário, retorna-se ao passo 3, executando-se uma nova estimativa de etiquetas no *cluster* utilizando-se o *slot* de medição.

7. Com o término da identificação de todas as etiquetas do primeiro *cluster*, o leitor aumenta a potência  $P_{cluster}$  a fim de delimitar a largura do próximo *cluster*. Repetem-se os procedimentos para os *clusters* restantes.

8. Lidas todas as etiquetas de todos os *clusters*, o mecanismo termina.

#### D. Simulador

Para a realização dos experimentos foi desenvolvido um simulador próprio escrito em linguagem C++ que permite a geração de resultados para os seguintes algoritmos: Mecanismo proposto, FSA 256, DFSA ideal e algoritmo  $Q$  padrão. O simulador foi validado comparando-se os resultados obtidos com aqueles apresentados em [17][19][22].

#### E. Cenários de simulação

O cenário de simulação do mecanismo SMC é composto de um leitor localizado no centro de uma circunferência de raio 10m e um grupo de etiquetas distribuídas uniformemente. Para avaliar redes densas, varia-se a quantidade de etiquetas de 100 a 20.000. A quantidade de *clusters* pode variar de 5 a 50, com incremento de 5, nas simulações. Para a geração dos resultados, calcula-se a média de 1.000 simulações com intervalo de confiança de 95%. Simulam-se etiquetas com posições fixas, frequência de operação de 900 MHz,  $P_{RXmin,leitor} = 10^{-11}$  ( $-80$  dBm),  $k = 0,33$ ,  $G_{leitor} = 1$ ,  $G_{etiqueta} = 1$ ,  $\lambda = 0,33$  e valor máximo para  $P_{cluster} = 30$  dBm [23]. Nas simulações deseja-se responder as seguintes perguntas: 1) é possível empregar o mecanismo proposto (SMC) com o objetivo de estimar a quantidade de etiquetas por *cluster*, ajustar o tamanho do quadro de leitura DFSA e, com isto, reduzir a quantidade de slots necessários para leitura? O SMC pode simultaneamente ser utilizado para reduzir o consumo de energia na leitura de etiquetas?

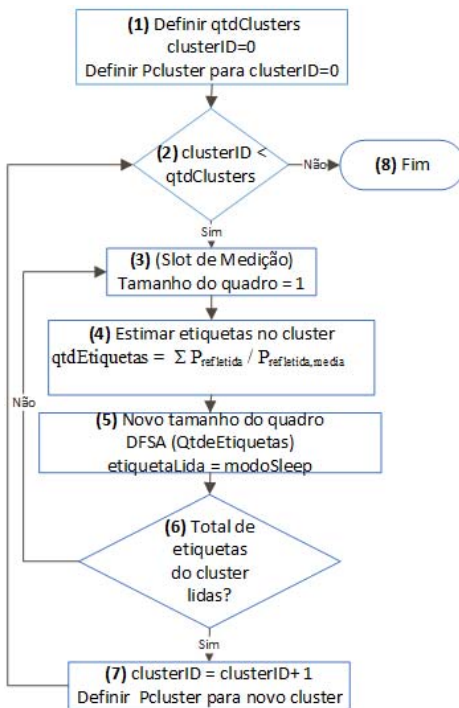


Figura 4. Fluxograma do Algoritmo proposto (SMC).

#### V. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O mecanismo SMC divide a zona de interrogação em *clusters*. Realizaram-se simulações para determinar a quantidade ótima de *clusters* em função da quantidade de etiquetas. Para a Tabela II, executou-se simulações variando a quantidade de *clusters* de 1 a 50, com incrementos de 5. Por exemplo, na linha 2 da tabela, observa-se que na faixa de 100 a 1.000 etiquetas, a quantidade ótima de *clusters*, é igual a 5, ao se utilizar o mecanismo SMC.

TABELA II  
QUANTIDADE ÓTIMA DE CLUSTERS

| Etiquetas       | Quantidade ótima de clusters |
|-----------------|------------------------------|
| 100 – 1.000     | 5                            |
| 2.000 – 13.000  | 10                           |
| 14.000 – 16.000 | 15                           |
| 17.000 – 20.000 | 20                           |

A Tabela II foi elaborada com base em gráficos similares ao da Fig. 5, onde para cada quantidade de etiquetas, no caso 5.000 etiquetas, determinou-se a quantidade de slots necessários para a leitura, variando-se de 5 a 50 com incrementos de 5, a quantidade de *clusters*. Na Tabela II percebe-se que, ao se aumentar a quantidade de etiquetas, deve-se aumentar a quantidade de *clusters* para que se tenha a menor quantidade de slots no processo de identificação. Entretanto, como na prática não se sabe a quantidade exata de etiquetas, pode-se determinar uma aproximação de acordo com o tipo da aplicação.

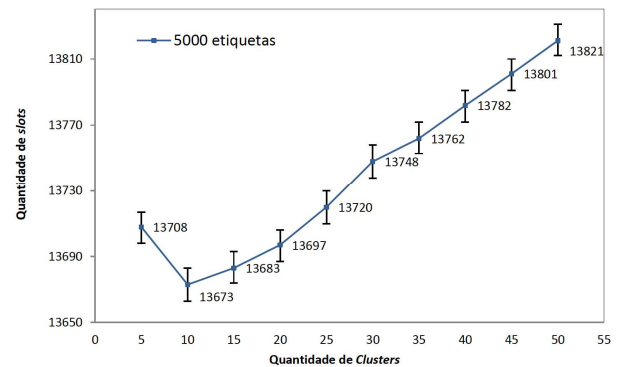


Figura 5. Quantidade de clusters x quantidade de slots (5000 etiquetas).

#### Quantidade de slots

A Fig. 6 apresenta a quantidade de *slots* utilizados para leitura em função da quantidade de etiquetas que variam, respectivamente, de 100 a 1.000. Observa-se que o mecanismo SMC-20 apresenta melhores resultados quando comparado ao FSA com quadro fixo de 256 *slots* e algoritmo  $Q$ . O SMC-20 é o que mais se aproxima do DFSA ideal. Na Fig. 7 varia-se de 10.000 a 20.000 a quantidade de etiquetas a fim de observar os resultados em cenários com grande densidade. Nesta figura nota-se que o mecanismo SMC-20 apresenta desempenho 99% próximo do mecanismo DFSA ideal e com uma melhoria de 6,5% em relação ao algoritmo  $Q$ .

## F. Throughput

O *throughput* do DFSA ideal, algoritmo  $Q$  e mecanismo SMC-20 são apresentadas na Fig. 8. O *throughput* [3] é definido em (7):

$$\text{throughput} = \frac{\text{Quant. de slots com sucesso}}{\text{Quant. total de slots}} \times 100 \quad (7)$$

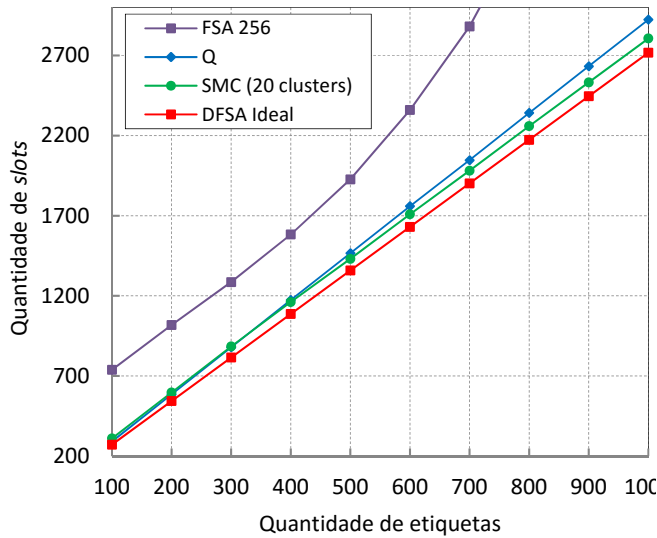


Figura 6. Quantidade de etiquetas x slots (100 a 1.000 etiquetas).

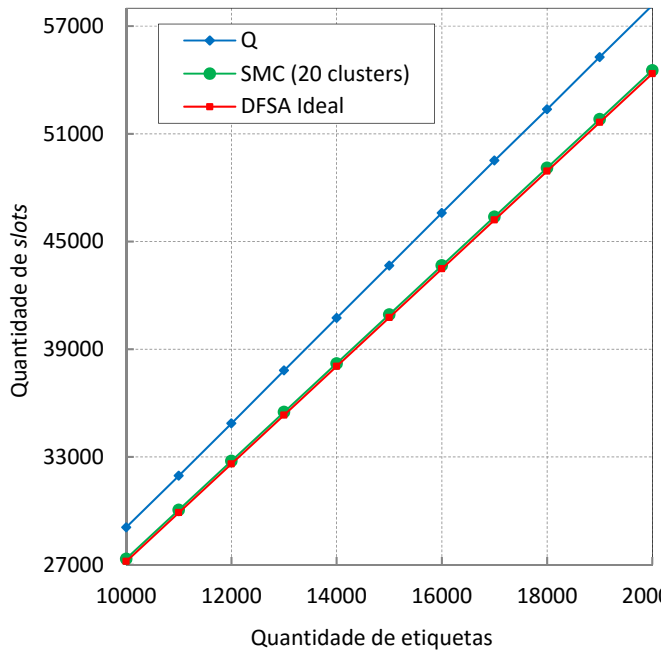


Figura 7. Quantidade de etiquetas x slots (10.000 a 20.000 etiquetas).

Na Fig. 8, observa-se que algoritmo  $Q$  possui *throughput* quase constante em função da quantidade de etiquetas, enquanto o mecanismo SMC apresenta *throughput* dependente da quantidade de etiquetas a serem identificadas.

Para a faixa de 100 a 1.000 etiquetas, o *throughput* aumenta se a zona de interrogação for dividida em menor quantidade de *clusters* menores. Isto acontece, pois, o mecanismo SMC utiliza mais *slots* de medição conforme a quantidade de *clusters* aumenta. Por exemplo, se a zona de interrogação possuir 500 etiquetas, o *throughput* será maior se dividirmos em 5 *clusters* ao invés de 20 *clusters*. A partir de 1000 etiquetas observa-se que apenas a curva do SMC com 5 *clusters* cruza abaixo das demais que são tão mais altas e próximas do DFSA ideal quanto menor a quantidade de *clusters* empregados.

## G. Energia consumida pelo leitor

A Fig. 9 apresenta a energia consumida pelo leitor em função da quantidade de etiquetas lidas.

O consumo de energia é dado em (8) onde  $P_{cluster}$  é a potência fornecida pelo leitor [24], durante o tempo  $t_{cluster}$  de identificação das etiquetas. A energia total consumida é calculada somando-se a energia consumida em cada *cluster*.

$$E_{total} = \sum P_{cluster} \cdot t_{cluster} \quad (8)$$

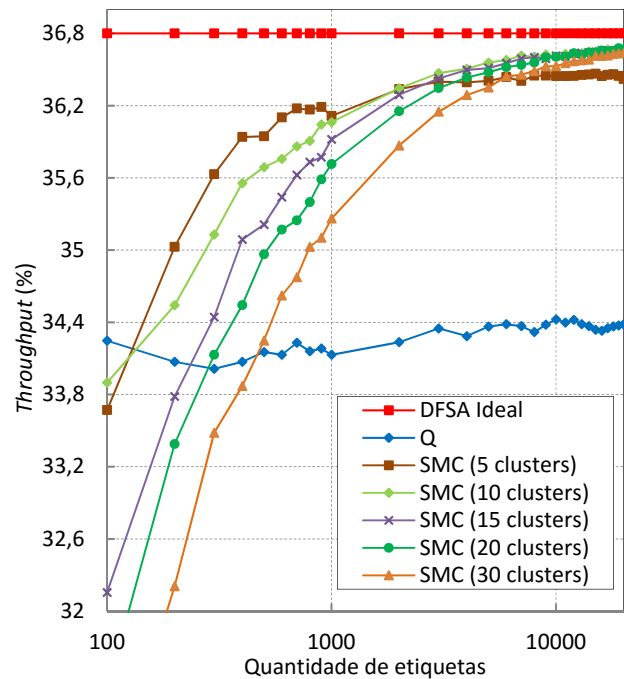


Figura 8. Quantidade de etiquetas x *throughput* (%).

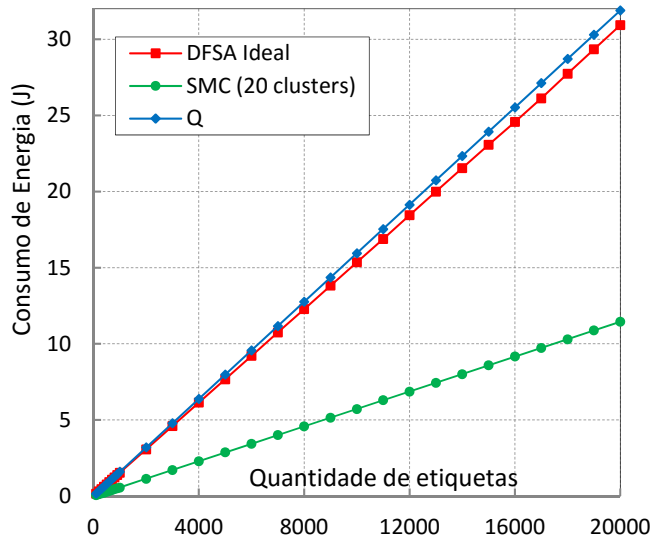


Figure 9. Quantidade de etiquetas x consumo de energia.

## VI. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um mecanismo anticollisão para sistemas RFID baseado em ALOHA (DFSAs). O mecanismo baseia-se na divisão da área de interrogação em *clusters*. O mecanismo interroga em um único *slot* todas as etiquetas de um *cluster*, realiza medições de RSSI das etiquetas e estima a quantidade de etiquetas por *cluster*. O mecanismo é avaliado utilizando-se simulador próprio desenvolvido em linguagem C/C++. Com os resultados obtidos, percebe-se que a quantidade de *slots* necessários para a leitura de etiquetas com o mecanismo proposto (SMC) é até 99% próximo do mecanismo DFSA ideal e melhor 6,5% que o mecanismo Q. Nota-se que a energia consumida pelo leitor apresentou grande redução, em torno de 63% quando comparado ao algoritmo DFSA ideal e de 65% em relação ao algoritmo Q. Esta redução decorre da divisão da área de interrogação em *clusters*, pois o leitor aumenta a potência fornecida de acordo com cada *cluster* lido. A redução na energia consumida permite que aplicações com leitores portáteis apresentem melhor a autonomia de baterias. Trabalhos futuros apontam para estudos de controle de potência em cenários nos quais existe mobilidade das etiquetas.

## AGRADECIMENTOS

Este artigo foi financiado pela FAPEAM (Fundação de amparo a pesquisa do estado do Amazonas).

## REFERÊNCIAS

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification," John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [2] A. G. Foina, F. J. Ramirez-Fernandez, and S. E. Barbin, "An RFID bulk cargo supervising system," IEEE Latin America Transactions, vol. 7, no. 6, pp. 688-693, Dezembro, 2009.
- [3] F. C. Schoute, "Dynamic frame length ALOHA," IEEE Transactions on Communications, vol. 31, no. 4, pp. 565-568, April, 1983.

- [4] E.P.C Global, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation 2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz 960 MHz," version 2.0.1, EPCglobal Inc. April, 2015.
- [5] O. Gogliano and C. Eduardo Cugnasca, "An overview of the EPCglobal network," IEEE Latin America Transactions, vol. 11, no. 4, pp. 1053-1059, June, 2013.
- [6] W. Alsalihi, K. Ali, and H. Hassanein, "A power control technique for anti-collision schemes in RFID systems," Journal of Computer Networks, vol. 57, no 9, pp. 1991-2003, Elsevier. June, 2013.
- [7] W. Alsalihi, K. Ali, and H. Hassanein. "Optimal distance-based clustering for tag anti-collision in RFID systems," LCN 2008. In IEEE Proceedings of the 33rd Conference on Local Computer Networks, pp. 266-273, October, 2008.
- [8] L. Sanchez, and V. Ramos. "Optimum power distance clustering for the EPC Class-1 Gen2 standard in RFID systems," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 11, no 1, Sage, January, 2015.
- [9] K. Ali, H. Hossam and A. M. Taha. "RFID anti-collision protocol for dense passive tag environments," LCN 2007. In IEEE Proceedings of the 32nd Conference on Local Computer Networks, pp. 819-824, October, 2007.
- [10] M. Alotaibi, K. S. Bialkowski, and A. Postula, "A signal strength based tag estimation technique for RFID systems," RFID-TA 2010. In IEEE Proceedings of the International Conference on RFID-Technology and Applications, pp. 251-256, July, 2010.
- [11] F. Ouakasse, S. Rakrak. "A new mechanism for RFID clustering and identification," WCCCS 2014. In IEEE Proceedings of the 5th Workshop on Codes, Cryptography and Communication Systems, pp. 6-10, November, 2014.
- [12] S. Dhakal, and S. Seokjoo. "A sequential reading strategy to improve the performance of RFID anti-collision algorithm in dense tag environments," ICUFN 2013. In IEEE Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous and Future Networks, pp. 531-536. IEEE, July, 2013.
- [13] S. Ahson and M. Ilias, "RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy," CRC Taylor and Francis Group, 2008.
- [14] N. Abramson, "The ALOHA System -- Another Alternative for Computer Communication," AFIPS '70. In Proceedings of the Fall Joint Computer Conference, pp. 281-285, November, 1970.
- [15] W.-T. Chen, "A New RFID Anti-collision Algorithm for the EPCglobal UHF Class-1 Generation-2 Standard," UIC/ATC 2012. In Proceedings of the 9th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing and 9th International Conference on Autonomic and Trusted Computing, pp. 811-815, October, 2012.
- [16] H. Vogt, "Multiple object identification with passive RFID tags," In Proceedings of the International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 98-113, October, 2002.
- [17] W.-T. Chen and G. H. Lin, "An efficient anti-collision method for tag identification in a RFID system," IEICE Transactions Communication, vol. 89, no. 12, pp. 3386-3392, December, 2006.
- [18] J. B. Eom and T. J. Lee, "Accurate tag estimation for dynamic framed-slotted ALOHA in RFID systems," IEEE Communications Letters, vol. 14, no. 1, pp. 60-62, January, 2010.
- [19] D. Lee, K. Kim, and W. Lee, "Q+ -Algorithm: An Enhanced RFID Tag Collision Arbitration Algorithm," UIC. International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing, vol. 4611, pp. 23-32, Springer. 2007.
- [20] H. T. Friis, "A Note on a Simple Transmission Formula," I.R.E. Institute of Radio Engineers and Waves and Electrons, vol. 34, no. 5, pp. 254-256, May, 1946.
- [21] D. M. Dobkin, "The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice," Elsevier Inc, 2012.
- [22] J. Teng, X. Xuan, and B. Yu, "A Fast Q algorithm based on EPC Generation-2 RFID protocol," In Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, pp. 1-4. Chengdu, 2010.
- [23] E. S. Ferraz, C. B. Carvalho, "Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel," ENCOSIS 2017. Encontro Regional de Computação e Sistemas de Informação, v.6, Maio, 2017.
- [24] X. Xu, L. Gu, J. Wang, G. Xing, and S. Cheung, "Read More with Less: An Adaptive Approach to Energy-Efficient RFID Systems," IEEE Journal on Select Areas and Communications, vol. 29, no 8, pp. 1684-1697, September, 2011.



**Walfredo Costa Lucena Filho** é graduado e mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Amazonas-UFAM (1989 e 2015). Desde 2013, professor da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) com pesquisas na área de redes sem fio e computação móvel.



**Lucas Carvalho Cordeiro** graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) em 2004, mestrado em Informática em 2007 e doutorado em Ciência da Computação pela Universidade de Southampton (Inglaterra) em 2011. Atualmente é professor adjunto do Departamento de Eletrônica e Computação da UFAM. Tem experiência nas áreas de verificação formal automatizada, bounded (and unbounded) model checking, teorias do módulo da satisfatibilidade, teste automatizado e sistemas embarcados.



**Waldir Sabino da Silva Junior** doutor e mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2010 e 2004) e graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Amazonas (2001). Desde 2006, é professor da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e professor do programa de Mestrado em Engenharia Elétrica da UFAM desde 2011. Deste 2007 é pesquisador do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologia Eletrônica e da Informação (CETELI/UFAM). Tem experiência nas áreas de Reconhecimento de Padrões, Compressão de Imagens, Processamento Digital de Sinais, Morfologia Matemática e TV Digital.



**Celso Barbosa Carvalho** é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), em 1997. Mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 2005 e 2012. Desde 2007 é professor da UFAM e desde 2013 professor do programa de Mestrado em Engenharia Elétrica da UFAM. Desde 2007 é pesquisador do CETELI/UFAM, realizando pesquisas na área de redes sem fio e computação móvel.