

Um Protocolo Híbrido de Anti-colisão de Etiquetas para Sistemas RFID

Bruno A. de Jesus, Rafael C. de Moura, Liliane Rose B. Salgado e Paulo André da S. Gonçalves

Resumo—A identificação de etiquetas em sistemas RFID requer protocolos de anti-colisão que são tradicionalmente divididos em dois grupos: protocolos baseados em *Árvore* e baseados em ALOHA. No entanto, o processo de identificação em ambas abordagens é lento em sistemas RFID com muitas etiquetas. Para melhorar o desempenho na identificação de etiquetas em sistemas RFID densos, este trabalho propõe uma abordagem de anti-colisão híbrida que inicia com uma fase de identificação baseada em ALOHA seguida por uma ou mais fases baseadas em *Árvore*. Os resultados de simulação mostram que o protocolo proposto apresenta uma redução significativa no número de colisões ao longo do processo de identificação de etiquetas, quando comparado com os protocolos QT e QT-SC.

Palavras-Chave—Etiqueta, leitor, colisão, protocolo, RFID.

Abstract—The tag identification in RFID systems requires anti-collision protocols, that are traditionally divided into two groups: Tree-based and ALOHA-based protocols. However, the identification process in both approaches is slow in RFID systems with lots of tags. To improve the performance on the tag identification process in dense RFID systems, this work proposes a hybrid anti-collision approach that introduces an ALOHA-based initial identification phase followed by one or more Tree-based phases. Simulation results show that the proposed approach brings a significant reduction on the number of collisions during the tag identification process when compared to that observed by using the QT and QT-SC protocols.

Keywords—Tags, reader, collision, protocol, RFID.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) está entre as mais promissoras para identificação automática de objetos utilizando radiofrequência (RF). É uma eficaz sucessora da tecnologia de código de barras, levando em consideração a múltipla identificação de objetos, sem a necessidade da linha de visada, limitação existente na tecnologia de código de barras.

Em geral, os sistemas RFID básicos são compostos por um leitor e diversas etiquetas. Cada etiqueta armazena um identificador (ID) único e é colada ou embutida nos objetos a serem identificados. No processo de identificação, o leitor requisita o ID às etiquetas. Quando duas ou mais etiquetas respondem ao mesmo tempo, ocorre a colisão dos sinais provenientes dessas etiquetas, impedindo que o leitor reconheça os IDs enviados. Nessa situação, é necessária a utilização de um protocolo anti-colisão de etiquetas para reduzir ou resolver

conflitos na transmissão e permitir uma rápida identificação de todos os objetos.

Muitas aplicações RFID introduzem um desafio ao problema de acesso ao meio. Isto ocorre, pois, dadas as limitações de baixo poder computacional e limitações de energia das etiquetas, torna-se irreal assumir que elas poderiam se comunicar diretamente umas com as outras ou ainda, escutar o canal de comunicação antes de qualquer transmissão e, assim, evitar a colisão. Tais condições implicam na necessidade de se desenvolver e adotar protocolos anti-colisão de etiquetas específicos para sistemas RFID [5]. Tais protocolos são tradicionalmente divididos em dois grupos: os protocolos baseados em *Árvore* (determinísticos) e os protocolos baseados em ALOHA (probabilísticos).

Dentre os protocolos baseados em ALOHA, o *Frame-Slotted ALOHA* (FSA) [3] e o *Dynamic Frame-Slotted ALOHA* (DFSA) [4] têm recebido bastante atenção na literatura. Nesses protocolos, a cada ciclo de leitura, as etiquetas transmitem seus IDs em um determinado momento, e ao fim do ciclo, avalia-se a necessidade ou não de outro ciclo de leitura de acordo com as identificações bem sucedidas no ciclo anterior. Quando o leitor não receber mais sinal algum em seu último ciclo de leitura o processo de identificação estará concluído.

Dentre os protocolos baseados em *Árvore* [1], [6], [7], a literatura destaca os baseados na proposta do *Query Tree* (QT) [2]. Tais protocolos são determinísticos e têm sua importância no fato de terem sido os principais precursores das demais propostas baseadas em *Árvore* existentes hoje, e continuam sendo amplamente utilizados, tanto em sua forma original, como também como parte de outros protocolos. Os protocolos baseados em *Árvore* funcionam basicamente conforme o seguinte princípio: as etiquetas que estão ao alcance do leitor são divididas em grupos a partir das requisições feitas pelo leitor. Esse processo se dá de forma recursiva, até que cada grupo seja composto por apenas uma etiqueta que transmitirá sozinha para o leitor. Cada grupo é formado a partir da subdivisão obedecendo a um filtro de seleção que varia de acordo com o protocolo.

Ambas abordagens possuem algumas desvantagens em sua utilização. A principal desvantagem dos protocolos baseados em *Árvore* consiste na alta probabilidade de ocorrência de atrasos significativos na identificação das etiquetas. O atraso cresce exponencialmente à medida que o número de etiquetas aumenta. Entretanto, protocolos baseados em *Árvore* garantem a identificação de todas essas etiquetas, o que não pode ser totalmente garantido nos protocolos baseados em ALOHA, dada a aleatoriedade da seleção do momento em que a eti-

queta transmitirá. O evento denominado *starvation* [5] ocorre quando uma ou mais etiquetas não conseguem transmitir para o leitor, uma vez que, considerando a aleatoriedade supracitada, toda tentativa de transmissão ocasiona em colisão. Portanto, uma boa oportunidade de otimização consiste em utilizar a exatidão de protocolos baseados em *Árvore*, aliando-as às vantagens de eficiência de protocolos baseados em ALOHA.

Este artigo propõe um protocolo anti-colisão híbrido de etiquetas para sistemas RFID, denominado ALOHAQT bem como sua extensão ALOHAQT-SC. A proposta explora os benefícios das abordagens baseadas em ALOHA e em *Árvore* e consiste em uma forma determinística para a resolução de colisões se valendo, inicialmente, do emprego de uma abordagem probabilística. O intuito principal é diminuir o número de colisões ocorridas no processo de identificação, propondo assim, um protocolo determinístico que apresenta um desempenho melhor do que os existentes. A consequência direta é a redução no atraso total de identificação, o que é comum a tal classe de protocolos.

O restante deste artigo está organizado como segue: a Seção II apresenta um detalhamento dos protocolos anti-colisão utilizados na proposta. A Seção III apresenta o protocolo proposto de forma mais detalhada. A Seção IV apresenta a avaliação de desempenho do protocolo proposto e os resultados obtidos. A Seção V apresenta as considerações finais deste trabalho.

II. PROTOCOLOS DE ANTI-COLISÃO

A. Protocolos baseados em ALOHA

A versão básica do protocolo ALOHA funciona da seguinte maneira: uma etiqueta inicia uma transmissão assim que estiver pronta e possua dados para mandar. As etiquetas automaticamente enviam seus IDs ao entrarem na área de alcance do leitor, o que significa que elas receberão energia para realizar a transmissão.

No *Slotted ALOHA* [3], as etiquetas continuam transmitindo seus IDs, mas respeitando *'slots'* de tempo. *Slot* pode ser definido como o intervalo de tempo no qual a etiqueta transmitirá seu ID [4]. O leitor identificará a etiqueta quando esta transmitir sozinha em um *slot*. O *Slotted ALOHA* tem por intuito impedir que haja colisões parciais, ou seja, que uma etiqueta inicie uma transmissão sem que outra etiqueta tenha terminado sua transmissão.

O protocolo *Frame-Slotted ALOHA* [3] introduz a ideia de *frame* que consiste em um bloco contínuo de *slots* de tempo. Cada etiqueta transmite seu ID somente uma vez naquele *frame*.

B. Protocolos baseados em *Árvore*

Em protocolos de anti-colisão baseados em *Árvore*, tradicionalmente ocorrem atrasos no processo de identificação que crescem exponencialmente à medida que o número de etiquetas aumenta, devido à forma como tratam as colisões.

O protocolo QT consiste de ciclos de requisições e respostas. Em cada ciclo o leitor interroga as etiquetas se algum de seus IDs inicia com certo prefixo definido pelo leitor. Se mais

de uma etiqueta responder, então o leitor sabe que existem ao menos duas etiquetas que possuem aquele prefixo e que se enviarem seus IDs ocorrerá colisão. O leitor, então, acrescenta '0' ou '1' ao prefixo, e continua a realizar requisições com prefixos maiores. Quando o prefixo coincide com o ID de somente uma etiqueta, essa pode ser identificada. Desta forma, segue-se estendendo os prefixos até que todas as etiquetas possam ser identificadas unicamente, através da comparação dos prefixos com seus IDs.

A Figura 1 apresenta uma árvore binária que representa o esquema das requisições do leitor, as respostas das etiquetas e a divisão dos grupos e subgrupos.

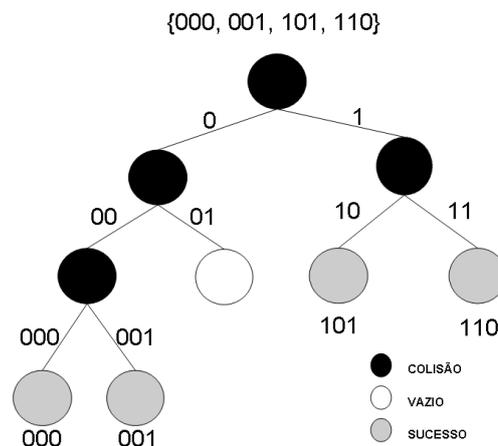


Fig. 1. *Árvore binária representando a execução do QT.*

Alguns melhoramentos do QT são apresentados em [2], o mais importante deles pode ser descrito pela extensão *Query Tree Shortcutting (QT-SC)* [2], que tem por intuito o de prevenir que aconteçam requisições que certamente resultariam em colisões.

Por exemplo, supondo que uma requisição de prefixo '*p*' resultasse em uma colisão, e a requisição de prefixo '*p0*' resultasse em um *slot* vazio, então o leitor pula a requisição de prefixo '*p1*', que certamente resultaria em colisão, e realiza diretamente as requisições com os prefixos '*p10*' e '*p11*', evitando assim uma requisição desnecessária. Desta forma percebe-se uma melhoria relevante no sentido de redução de colisões quando utilizado o protocolo QT-SC, uma vez que dada a ocorrência de um ciclo vazio após a ocorrência de uma colisão, certamente, pelo menos a ocorrência de mais uma colisão será evitada.

III. O PROTOCOLO PROPOSTO ALOHAQT

Nesta seção, será apresentada uma proposta que se baseia no aproveitamento das vantagens de abordagens probabilísticas e determinísticas. Para tanto se utiliza como representante probabilístico, um protocolo baseado em ALOHA e como representante determinístico, um protocolo baseado em *Árvore*. O método consiste na rápida divisão do total de etiquetas a serem identificadas em grupos menores, utilizando para isso o protocolo probabilístico. A partir de então, será aplicado o protocolo determinístico para resolver as colisões em cada

grupo formado na primeira etapa. Ao final, todas as etiquetas terão sido identificadas.

O representante probabilístico baseado em ALOHA será o protocolo *Frame-Slotted ALOHA*, citado na Seção II. Tal protocolo é amplamente estudado na academia, bem como algumas de suas variações, sendo inclusive bastante utilizado também comercialmente. O protocolo proposto utiliza a versão básica do protocolo, que não necessita do cálculo da estimativa da quantidade de etiquetas, nem do ajuste do tamanho do *frame*, diminuindo assim a complexidade necessária para o sistema, uma vez que o protocolo básico já supre as necessidades da proposta, como será exposto posteriormente.

Como representante determinístico, é utilizado o protocolo *Query Tree* também citado na Seção II. Esse protocolo é um dos melhores baseado em Árvore, sobretudo quando implementado com uma de suas variações (o *Query Tree Shortcutting*), pela qual se obtém uma redução considerável da quantidade de colisões no processo de identificação.

O funcionamento do protocolo proposto, ALOHAQT, é dividido em duas fases: uma primeira fase onde se dá o particionamento das etiquetas que se encontram no alcance de comunicação do leitor e uma segunda etapa, onde se aplica a cada um dos grupos formados por esse particionamento um protocolo anti-colisão determinístico. O detalhamento dessas fases é apresentado nas seções que seguem.

A. Fase de Particionamento

Esta fase ocorre como em qualquer protocolo baseado no *Frame-Slotted ALOHA*, porém com um intuito diferente. O primeiro ciclo de leitura tem por intuito principal não só o de identificar as etiquetas, mas, sobretudo, o de dividir as etiquetas que estão ao alcance do leitor em grupos. Um ciclo de leitura consiste de dois passos: no primeiro passo o leitor envia uma requisição para todas as etiquetas que estão ao seu alcance solicitando que enviem suas respectivas IDs. Nessa mensagem de requisição, o leitor especifica o tamanho do *frame* (li), no qual as etiquetas vão enviar os dados. No segundo passo cada etiqueta que está ao alcance do leitor seleciona seu *slot* de resposta através da geração de um número aleatório que pertence ao intervalo $[1, \dots, li]$ e transmite seu ID naquele *slot*. O leitor identifica a etiqueta quando recebe seu ID sem colisões, ou seja, quando aquela etiqueta é a única a transmitir naquele *slot* selecionado.

No primeiro ciclo de leitura tem-se que cada etiqueta possui um número aleatório. Considerando tal número, a divisão dos grupos já é feita naturalmente, considerando que as etiquetas que possuem o mesmo número, farão parte do mesmo grupo. Outra consideração importante é que só existirá um grupo se naquele determinado *slot* mais de uma etiqueta tentou transmitir, o que ocasiona uma colisão, ou seja, não existirão grupos com somente uma etiqueta; neste caso a etiqueta será identificada com sucesso já na fase de particionamento, sendo, portanto, enviado a essa o comando de silenciamento (*QUIET command*).

Finalizada a fase de particionamento, dado que os grupos já estão devidamente divididos, dá-se início a segunda fase do protocolo: a identificação das etiquetas dos grupos um a um através da aplicação do protocolo anti-colisão determinístico.

B. Fase de Identificação

A partir dessa etapa, até a conclusão do processo de identificação, não se utilizará mais o protocolo *Frame-Slotted ALOHA*. Nesta fase o processo de identificação flui de forma bastante simples. Uma vez que os grupos já foram devidamente definidos na fase anterior, contando possivelmente, inclusive, com algumas etiquetas já identificadas, chega o momento de aplicar a cada grupo (que possui naturalmente menos etiquetas que o universo inicial de leitura do leitor).

Em cada *slot* que ocorreu colisão no primeiro ciclo de leitura, será aplicado o protocolo anti-colisão às etiquetas que formaram um grupo a partir deste fato. Neste trabalho foram aplicados dois protocolos citados na Seção II, o *Query Tree* (QT) e o *Query Tree Shortcutting* (QT-SC).

Pelo fato do protocolo não mais voltar a utilizar o *Frame-Slotted ALOHA*, fica clara a não necessidade de calcular a estimativa das etiquetas para o próximo ciclo de leitura (como é feito com algumas extensões do FSA) uma vez que, divididos os grupos, o que se resta a fazer é tão somente aplicar o protocolo anti-colisão a cada um dos grupos, obtendo-se, ao final da segunda fase, a identificação de todas as etiquetas que estavam ao alcance de leitura do leitor.

A Figura 2 ilustra o passo a passo da execução do protocolo. Em particular, as Figuras 2a e 2b ilustram a fase de particionamento do protocolo proposto enquanto as Figuras 2c e 2d ilustram a fase de identificação. A Figura 2d mostra a situação do ambiente ao final do processo de identificação, já identificadas as seis etiquetas que estavam ao alcance do leitor.

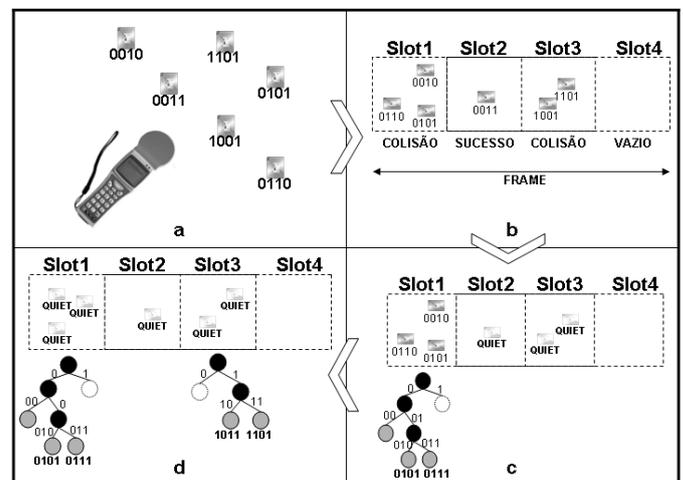


Fig. 2. Exemplo de execução do ALOHAQT.

IV. ANÁLISE DE DESEMPENHO

Esta seção apresenta uma avaliação de desempenho do protocolo ALOHAQT proposto e sua extensão ALOHAQT-SC. Esta última difere da primeira basicamente pela utilização do protocolo QT-SC como protocolo anti-colisão determinístico usado na fase de identificação em lugar do protocolo QT. Algumas comparações são realizadas com os protocolos QT, QT-SC e DFSA. Todos os protocolos foram implementados e avaliados com o auxílio do MATLAB®.

Como métricas de desempenho foram utilizadas: complexidade de tempo, representada pelo número total de *slots uplink* utilizados para transmissões de etiquetas para o leitor (o que inclui *slots* vazios, *slots* em colisão e *slots* nos quais as etiquetas foram identificadas com sucesso), a quantidade de ciclos que resultaram em colisões e de ciclos vazios (sem respostas) no processo de identificação.

Para o protocolo QT e para o protocolo QT-SC, o número total de *slots uplink* equivale ao número de requisições enviadas para leitor. As métricas de avaliação foram estudadas em função do número total de etiquetas a serem identificadas pelo leitor.

Uma das melhorias apresentadas na proposta é a redução considerável do número de colisões que ocorrem no processo de identificação. Considerem-se os seguintes gráficos da Figura 3 com as probabilidades médias de colisão, obtidos a partir da execução dos protocolos para todos os casos possíveis para IDs das etiquetas com tamanho três e quatro *bits*. Optou-se pela escolha desses tamanhos, para que se pudessem avaliar todas as possibilidades de combinação de quantidades de etiquetas por grupo e possíveis IDs em cada grupo. O protocolo proposto (ALOHAQT) foi utilizado de maneira simples, dividindo as etiquetas em apenas dois grupos (ou seja, o tamanho do *frame* é de dois *slots*).

Para a análise dos gráficos da Figura 3, seja, N , o número máximo de etiquetas em função do tamanho do ID. Foram realizadas simulações com todos os possíveis casos para etiquetas com IDs de três e quatro *bits*, variando a quantidade ' n ' de etiquetas. A proposta foi a de analisar a probabilidade média de ocorrência de colisão.

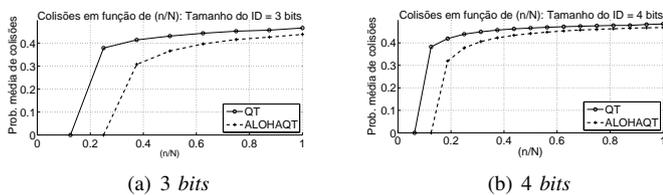


Fig. 3. Relação da probabilidade média da ocorrência de colisões para cenários com etiquetas com IDs de 3 e 4 *bits*.

A partir da análise da Figura 3 observa-se que a probabilidade média de ocorrência de colisões, ao utilizar-se o protocolo proposto (ALOHAQT), tende a ser menor do que se utilizado o protocolo QT. A partir dessa conclusão, percebe-se a tendência na diminuição do número de colisões no processo de identificação, quando se utiliza o protocolo proposto, valendo-se da divisão do universo total de etiquetas, nesse exemplo, em pelo menos dois grupos.

A Figura 4 apresenta uma comparação entre os protocolos DFSA, ALOHAQT e ALOHAQT-SC em relação ao número total de *slots* necessários para a identificação de n etiquetas. Os resultados apresentados são média obtidas a partir de 20 simulações. O tamanho do *frame* inicial é igual a 256 e as etiquetas possuem ID de 128 *bits*. Os resultados apresentados mostram que o protocolo ALOHAQT proposto e sua extensão ALOHAQT-SC são capazes de usar um número significativamente menor de *slots* do que o DFSA.

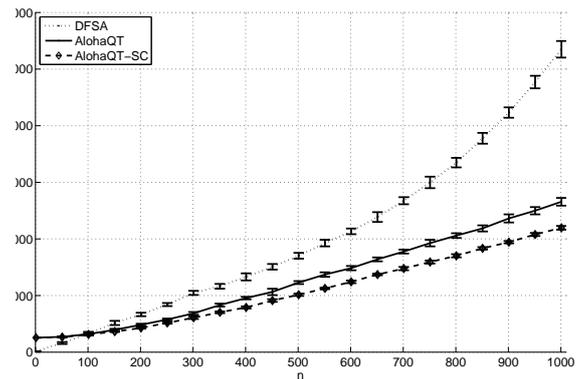


Fig. 4. Total de *slots* necessários para identificar até 1000 etiquetas para os protocolos baseados em ALOHA.

A seguir são apresentadas comparações entre o desempenho dos protocolos ALOHAQT e QT bem como entre o desempenho dos protocolos ALOHAQT-SC e QT-SC. Foram feitas avaliações com um *frame* inicial de 128, 256 e 512 *slots*. Para cada tamanho de *frame* avaliado, foram realizadas 20 simulações para a obtenção dos resultados. Todos os resultados são médias obtidas a partir das 20 simulações. Foram estudados cenários com até 1800 etiquetas, cada qual possuindo um ID de 128 *bits*.

A Figura 5 apresenta as melhorias percentuais em *slots* e *bits* transmitidos (etiqueta para o leitor) com os protocolos propostos. Note que tais melhorias com o uso do protocolo proposto podem chegar, respectivamente, até 20% e 17,5%, de acordo com o número de etiquetas a serem identificadas e o tamanho do *frame* inicial.

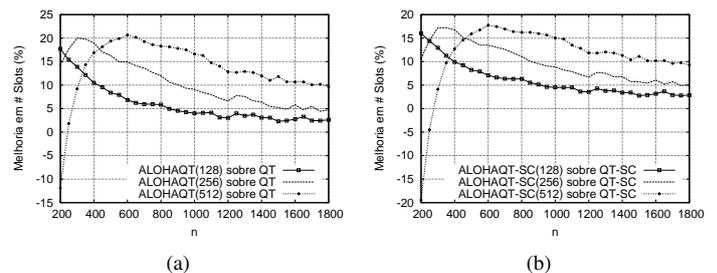


Fig. 5. Melhoria percentual do número de *slots* para $n \geq 200$ de acordo com o tamanho do *frame* inicial.

A Figura 6 apresenta a melhoria do protocolo proposto em relação ao número de colisões no processo de identificação, considerando diferentes tamanhos iniciais de *frame*. Percebe-se que para o grupo de 1800 etiquetas tamanho de *frame* igual a 512 *slots*, os protocolos propostos apresentam um ganho de até 20% em relação aos protocolos QT e QT-SC o que incide diretamente na outra métrica apresentada a seguir, o número de *bits* transmitidos.

A Figura 7 apresenta de maneira mais detalhada a melhoria em relação ao número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor em todo o processo de identificação, considerando

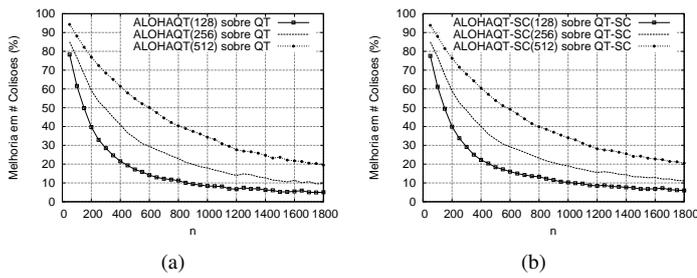


Fig. 6. Melhoria na ocorrência de colisões de acordo com o tamanho do *frame* inicial.

os diferentes tamanhos de *frames* estudados. Percebe-se que existe uma relação direta desses gráficos com os gráficos apresentados na Figura 6, uma vez que, como explicado anteriormente, a diminuição do número de colisões implica diretamente na diminuição do número de retransmissões, o que culmina na redução evidente do número de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor no processo de identificação. Nota-se que para o grupo de 1800 etiquetas com tamanho do *frame* inicial igual a 512 *slots*, os protocolos propostos apresentam um ganho próximo aos 70% em relação aos protocolos QT e QT-SC. Também para 1800 etiquetas e um tamanho menor de *frame* inicial (128 e 256 *slots*), ainda existe um ganho de aproximadamente 50% dos protocolos propostos em relação ao QT e ao QT-SC.

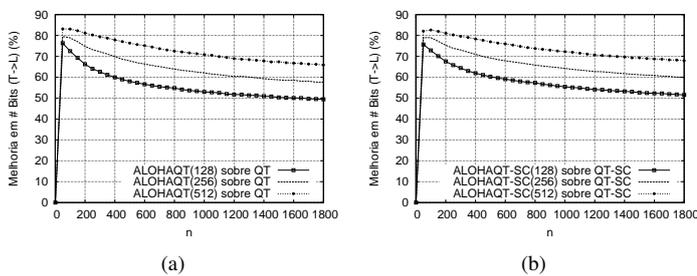


Fig. 7. Melhoria em número de *bits* transmitidos (sentido etiqueta-leitor) de acordo com o tamanho do *frame* inicial.

V. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi tratado o problema de identificação de etiquetas em sistemas RFID. Foi proposto um protocolo híbrido, que tem por vantagens a exatidão determinística e a eficiência probabilística. Resultados mostraram melhor desempenho em relação às propostas determinísticas, comparando o protocolo proposto com os protocolos QT e QT-SC, a partir de simulações, avaliando seus desempenhos à luz de métricas como o número total de *slots* no (sentido *uplink*) necessários no processo de identificação, o número de colisões e de *bits* transmitidos das etiquetas para o leitor.

Importante colocar a relação existente entre o número de *slots* no *frame* inicial do protocolo proposto e a quantidade de etiquetas a ser identificada. Tal relação influi diretamente na eficiência do protocolo, sobretudo considerando sistemas

RFID com alta densidade de etiquetas. Por fim, o protocolo proposto apresenta uma melhora considerável e independente da quantidade de etiquetas, no número de colisões no processo de identificação, que veio a ser o objetivo principal da proposta. Faz-se interessante o estudo da proposta aplicada com outros protocolos determinísticos, avaliando seu desempenho e comparando também com outros protocolos.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade dos Guararapes por incentivar e viabilizar a apresentação deste trabalho no XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBRT'11.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Feng, J.T. Li, J.B. Guo, Z.H. Ding, *ID-Binary Tree Stack Anticollision Algorithm for RFID*. IEEE Computer Society, 1530-1346, 2006.
- [2] C. Law, K. Lee, K.Y. Siu, *Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification (extended abstract)*. Proceedings of the 4th International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pages 75–84, 2000.
- [3] L. A. Burdet, *RFID Multiple Access Methods*. Technical Report, ETH Zurich, 2004.
- [4] S. Lee, S.D. Joo, C.W. Lee, *An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification*. Proc. of Mobiquitous 2005, pp. 166-172..
- [5] D. Klair, K.-W. Chin, R. Raad, *A Survey and Tutorial of RFID Anti-Collision Protocols*. IEEE Communications Surveys Tutorials, 2010, 12(3):400-421.
- [6] J. H. Choi, D. Lee, H. Lee, *Query Tree-based Reservation for Efficient RFID Tag Anti-collision*. IEEE Commun. Lett., vol. 11, no. 1, pp. 85-87, Jan. 2007.
- [7] T. Wang, *Enhanced Binary Search with Cut-through Operation for Anticollision in RFID Systems*. IEEE Commun. Lett., vol. 10, no. 4, pp. 236-238, Apr. 2006.