

Avaliação do Padrão IEEE 802.15.4 para Redes Veiculares com Testes Embasados na RFC 2544

Leonardo A. G. Silva, Jaqueline C. Sousa, Diego F. Sousa, Pablo A. Vieira ¹

¹Sistemas de Informação

Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Picos, PI - Brasil.

jaqueline.s.campelo@outlook.com, pablolukan@hotmail.com

(leosilvadrumsl00, diegofernando5672)@gmail.com

Abstract. *Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) are self-generating networks responsible for the delivery of packets using as vehicles. Research aimed at the development and standardization of technology is finding it difficult to acquire specialized radio because of high cost and scarcity factors. The objective of this work is to evaluate the IEEE 802.15.4 standard of the ZigBee modules as an alternative to the usual IEEE 802.11p standard, verifying if the standard meets the minimum requirements, such as: fast connection in textit ad-hoc, textit broadcast and reach 50 meters of link to the nodes. Applications were developed allowing an interface with the proposed standard, making it possible to analyze the usability for future traffic applications. The results showed that the model of the present study had a considerable frame delivery rate. However, there was a certain degradation of the network in the delivery of packages at high speeds in the V2I infrastructure (Vehicle-to-Infrastructure).*

Resumo. *As Redes Veiculares Ad hoc (Vehicular Ad hoc Networks-VANETs) são redes autogeradoras responsáveis pela entrega de pacotes usando como meio veículos. As pesquisas destinadas ao desenvolvimento e padronização da tecnologia sofrem dificuldade na aquisição do rádio especializado por fatores de alto custo e da escassez. O objetivo deste trabalho é avaliar o padrão IEEE 802.15.4 dos módulos ZigBee como uma alternativa ao padrão usual IEEE 802.11p, verificando se o padrão atende aos requisitos mínimos, como: conexão rápida em ad-hoc, broadcast permanente e alcance 50 metros de enlace para os nós. Foram desenvolvidas aplicações permitindo uma interface com o padrão proposto possibilitando analisar a usabilidade para futuras aplicações voltadas ao trânsito. Os resultados apontaram que o modelo do presente estudo teve uma taxa de entrega de quadros considerável. Porém houve uma certa degradação da rede na entrega de pacotes em altas velocidades na infraestrutura V2I (Vehicle-to-Infrastructure).*

1. Introdução

As Redes Móveis estão em crescimento no cenário mundial devido à procura a uma ampla conexão de dados. Chamando a atenção das empresas e da comunidade científica para o estudo e desenvolvimento dessa tecnologia. Podemos citar como exemplos de tecnologias originadas das Redes Móveis: Serviços de Telefonia Móvel, Localização GPS, Rede 3G e 4G e também Redes Veiculares, entre outras [Rodrigues et al. 2015].

Com o avanço das pesquisas criou-se a Rede Móvel *Ad Hoc* (*Mobile Ad Hoc Network*-MANETs) possibilitando haver uma infraestrutura não inteiramente fixa ocasionando melhorias na acessibilidade e mobilidade [Sant'Ana 2014]. Oriunda das MANETs derivou-se as Redes Veiculares *Ad Hoc* (*Vehicular Ad Hoc Network*-VANET). Elas são redes autogeradoras responsáveis por sua própria infraestrutura e entrega de pacotes por meio de veículos [Palmeira and dos Santos 2015].

O padrão IEEE 802.11p define a camada física conhecida como *Dedicated Short-Range Communications* (DSRC) que opera nos EUA em uma faixa exclusiva de 75 MHz. Na Europa a faixa de frequência varia entre 5,860 GHz e 5,900 GHz, de acordo com a especificação da *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), com divisão de faixa de frequência em canais de 10 MHz [Barcelos et al. 2014].

As aplicações funcionais são quase inexistentes e os trabalhos que focam em testes de campo são escassos por conta do alto custo da tecnologia e dificuldade ao seu acesso [Costa 2015]. Tal fato levou ao surgimento de pesquisas paralelas (uma das motivações do trabalho atual) para o desenvolvimento de tecnologias que podem se adaptar ao mesmo desempenho e funcionalidades das tecnologias específicas para as VANETs.

[Sukuvaara 2012] utilizou do padrão IEEE 802.11p para Redes veiculares executando testes práticos capazes de proporcionar comunicações V2I (Veículo-para-Veículo), V2V (Veículo-para-Infraestrutura) e V2X (Híbrido) de maneira eficiente com os dispositivos a rádio NEC Linkbird-MX. As métricas empregadas se propuseram a analisar medições sobre o tempo de conexão e vazão dos veículos.

No trabalho de [Teixeira et al. 2013] foi feita outra análise no mesmo padrão, porém com dispositivos UNEX DCMA-86P2 instaladas em dois notebooks. Os resultados indicaram que o padrão IEEE 802.11p supriu a latência, jitter, vazão, taxa de perda de pacotes e tempo de associação necessários para haver o QoS (Qualidade de Serviço, em inglês, Quality of Service) mínimo.

Segundo [Barcelos et al. 2014] o dispositivo UNEX DCMA-86P2 é um dos únicos no mercado que dão suporte ao padrão IEEE 802.11p. Para sobressair ao custo elevado, ele utilizou os dispositivos NEC Linkbird-MX para avaliar o padrão. Os resultados do seu trabalho mostraram que a taxa de perda de pacotes manteve-se instável em distâncias curtas com atraso inferior a 100 ms e com velocidades razoavelmente altas.

Em outro trabalho mais recente, [Sarakis et al. 2016] também utiliza dispositivos NEC Linkbird-MX para uma avaliação em transmissão multimídia entre veículos. As transmissões foram feitas com vídeos e velocidades diferentes em ambientes distintos. Como conclusão os resultados se mostraram aceitáveis com a configuração adequada, manipulação da comunicação disponível e parâmetros de aplicação.

Atualmente no Brasil, o custo dos dispositivos que possuem suporte ao padrão IEEE 802.11p continuam elevado, além de serem escassos e de difícil implantação nos veículos, pois precisam de grandes recursos computacionais para serem instalados. O presente trabalho pretende desenvolver um protótipo que possa sobressair aos altos custos para realização de testes em campo.

Foram utilizados os módulos ZigBee no padrão IEEE 802.15.4 como uma alternativa ao padrão IEEE 802.11p. Os resultados apontaram que os módulos Zigbee super-

taram mais 50% na taxa de entrega de quadros para pequenas velocidades nas aplicações, porém as taxa declinou para altas velocidades com cargas de trabalhos diferentes.

Este trabalho está organizado como descrito a seguir. A Seção 2 apresenta o Background, sobre aspectos das VANETs. Na Seção 3 são apresentados os Trabalhos Relacionados. A Construção do Protótipo na Seção 4. Na Seção 5 Metodologia e Testes. As avaliações são discutidas na Seção 6 e por fim na Seção 7 as conclusões são apresentadas.

2. Background

Há um conjunto de fatores ambientais e geográficos que podem influenciar na instalação de qualquer tipo serviços de redes. [Kurose and Ross 2010]. Tratando das VANETs em que os nós são dinâmicos a troca de informações depende muito da movimentação dos mesmos para situações de contato para troca dos pacotes [Serrado et al. 2014].

Por fim a topologia da rede se torna inconstante e de difícil previsão, dificultando um estudo prévio de rotas mais eficientes para que a comunicação à radio seja mais confiável entre os nós. Podemos notar outros fatores como velocidade e distâncias dos veículos que dificulta o contato mínimo para que ocorra o salto [Serrado et al. 2014].

2.1. Estrutura das VANETs

Existem três arquiteturas (V2V, V2I e V2X) presentes nas Redes Veiculares, que possibilitam diferentes tipos trocas de pacotes de acordo com a mobilidade dos nós. Na Figura 1 podemos visualizar a comunicação das arquiteturas.

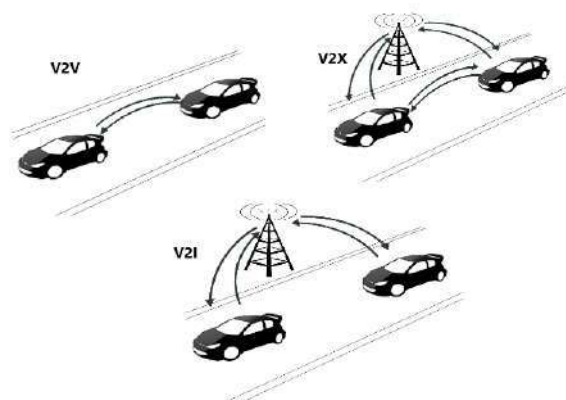


Figura 1. Arquitetura de comunicação V2I, V2I e V2X, adaptação [Alves et al. 2009]

A arquitetura primária é conhecida como V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) em que os pacotes são passados por saltos de veículo para veículo através de Unidades de Bordo (OBU-*On-Board Unit*). Essa arquitetura tem a problemática de constante desconexões por necessitar de grande fluxo de veículos [Serrado et al. 2014].

Já a infraestrutura V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) procura resolver esse problema com o foco em aumentar os contatos entre os nós. São instaladas Unidades de Acostamento (RSUs - *Road Side Unit*) ao longo das margens das malhas viárias dispondo de transmissores como pontos de acesso (*Access Points*) [Filho et al. 2016].

Outro tipo de infraestrutura que as VANETs possuem é a V2X (*Vehicle-to-Mean*) que tem por característica unir as duas abordagens de arquiteturas anteriores (V2V e V2I). Ela minimiza o alto custo que seria para instalar muitas RSUs nas vias (organização V2V), pois a entrega ocorre também por saltos entre os nós OBUs [Barcelos et al. 2014].

2.2. Modelo WAVE e Padrão IEEE 802.11p

Um grupo da pesquisa da IEEE deste o ano de 2004 vem juntando esforços para a padronização e desenvolvimento das aplicações e tecnologias direcionadas às VANETs. O padrão que vem sendo aprimorado é conhecido como família de padrões WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*) e é definido em seis documentos: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4, IEEE 802.11 e IEEE 802.11p [Soares et al. 2016].

Dentro desse padrão está o IEEE 802.11p que especifica a subcamada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e múltiplas camadas Físicas (PHYs). Ele é formado por dois documentos, IEEE 802.11p-2010 e IEEE 802.11-2012, que posteriormente foram incorporados especificando conjunto de extensões para o IEEE 802.11-2012 operar fora de um contexto de um conjunto de serviços básicos (BSS) [Alves et al. 2009].

3. Trabalhos Relacionados

Nesta seção, podemos analisar algumas características acerca de trabalhos relacionados no contexto das VANETs. A Tabela 1 apresenta os critérios analisados, confrontando suas contribuições, diferenças e semelhanças com relação com presente trabalho.

Tabela 1. Trabalhos Relacionados

Trabalhos (Ano)	Principais Contribuições	Xbee (Padrão 802.14.5)	Envios com Tamanhos Diferentes de Quadros	Testes Embasados Na RFC 2455
[Bhargav and Singhal 2013]	Um Sistema de Emergência Resgates de Veículos Acidentados	Sim	Não	Não
[Sant'Ana 2014]	Uma Aplicação de Detecção de Colisão de Veículos	Sim	Não	Não
[Karyemsetty et al. 2015]	Sistema de monitoramento GPS em uma rede Zigbee	Sim	Não	Não
[Shree et al. 2016]	Protótipo para Testes de Comunicação Entre Veículos com Zigbee em varios Cenários	Sim	Não	Não
Este Estudo (2017)	Investigação do Comportamento do Padrão IEEE 802.14.5 na Infraestrutura V2I Testando Quatros com Velocidades diferetnentes	Sim	Sim	Sim

No trabalho de [Bhargav and Singhal 2013] foi fornecida uma abordagem abrangente no desenvolvimento de um sistema de eficiente de missões de emergência para o gerenciamento de resgates de veículos envolvidos em acidentes com meio do auxílio de redes Ad-hoc Veiculares (VANETs). Os resultados mostram que os módulos ZigBee atendem aos requisitos para a comunicação de carro para carro para transmissões multimídia.

O trabalho de [Sant'Ana 2014] é proposto o desenvolvimento uma aplicação de detecção de veículos em possível risco de colisão, com avisos para a resposta do usuário para evitar acidentes. Foram realizados testes em ambientes de diferentes características

e densidades. O protótipo que utilizam módulos ZigBee atenderam as especificações para aplicações voltadas para a segurança no trânsito com latência média de 60 ms.

Um sistema parecido com o anterior, é proposto no trabalho [Karyemsetty et al. 2015], que utilizam os módulos ZigBee para o estabelecimento de uma rede simples com cinco nós em veículos. Cada protótipo transmite as coordenadas GPS para um ponto infraestruturado para o rastreamento da movimentação dos veículos. Os resultados mostraram que a rede tem uma certa degradação em altas velocidades.

Já no trabalho de [Shree et al. 2016] é desenvolvido um protótipo para o estudo do uso de redes Zigbee utilizando o padrão 802.15.4 em comunicações entre veículos. Como nos trabalhos citados anteriormente os módulos ZigBee foram adotados por seus recursos de baixo custo, baixo consumo de energia, controle e monitoramento de rede. Os resultados justificam o uso dos módulos ZigBee para as comunicações em VANETs em vários cenários de teste.

O trabalho proposto tem como principal diferencial a metodologia abordada nos testes com o uso de algumas técnicas abordadas na RFC 2455, tais como envios de quadros seguidos e tempo de espera entre eles. Nos demais trabalhos também não existem alternância e envio de quadros com tamanhos diferentes. Porém o estudo atual tenta forçar um *workload* (carga de trabalho) maior com envios de quadros distintos.

Em um contexto de comunicação veicular a forma mais ideal para a avaliação do padrão sugerido seria análise combinatória na investigação do comportamento da rede do padrão IEEE 802.14.5, pois a metodologia permite correlacionar parâmetros distintos a níveis diferentes. Possibilitando um aperfeiçoamento na criação e no desenvolvimento de novas métricas e técnicas de testes em VANETs.

4. Construção do Protótipo

Para a viabilização da comunicação via rádio das aplicações foram adotados comunicadores Zigbee da Digi XBee Ecosystem baseados no padrão IEEE 802.15.4. Os protótipos desenvolvidos foram dois nós: um deles instalados em um veículo e o outro em um notebook à margem da pista. Na figura 2 estão os protótipos.

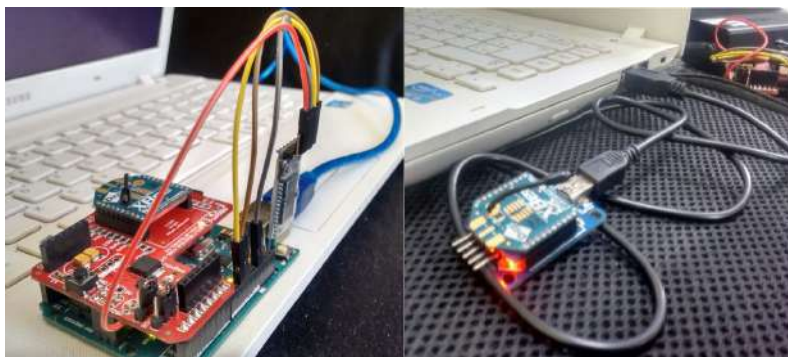


Figura 2. Protótipo Onboard (Unidade de Bordo) a esquerda e Offboard (Unidade Externa) a direita, montados com os Módulos XBees S2C ZigBee Wire Antenna.

A aplicação *onboard* (OBU) desenvolvida em Android conta com um dispositivo celular conectado a um módulo Bluetooth RS232 HC-05 dispondo de interface ao Ar-

duino para a coleta para dos *logs* das mensagens. Na Aplicação *offboard* (RSU) está conectado um módulo Xbee à uma entrada USB de um Notebook que executa um *script* serial desenvolvido na linguagem Python. Ele é responsável por gravar o horário e conteúdo das mensagens recebidas.

5. Testes e Metodologia

Para que seja feito um estudo estatístico sobre redes é necessário que se forneçam parâmetros para a análise de métricas mais precisas. As métricas da RFC 2544 especificam testes que podem descrever as características de desempenho em dispositivos de redes e o formato correto em que os dados devem ser apresentados.

Foram enviados quadros de 32 bytes a 40 km/h e 80 km/h, 64 bytes a 40 km/h e 80 km/h e 84 bytes a 40 km/h e 80 km/h. As escolhas dos tamanhos dos quadros foram embasadas na capacidade de transmissão da tecnologia. Pois a partir de 84 bytes é feita a quebra e indexação de quadros em tamanhos menores. Na figura 3 está um compilado com as fotos do ambiente de testes.



Figura 3. Ambiente dos Testes (A direita se encontra o mapa da pista de pouso de aviões de pequeno porte da cidade de Oeiras-Piauí. A esquerda está um compilado de fotos dos testes)

Para cada nível foram realizadas 6 voltas, enviando 5 pacotes com 3 segundos de atraso entre eles, a fim de analisar envios de 30 quadros seguidos (amostra mínima para a estatística). Os quadros foram enviados com seu conteúdo e ID de saída do aparelho celular entre um carro e uma infraestrutura, a uma distância inicial de 20 metros até 60 metros em uma pista de aproximadamente 120 metros. No final das baterias de testes totalizou 36 voltas (6 níveis vezes 6 voltas) com envios de quadros de tamanhos distintos a velocidades diferentes.

6. Avaliação

Nesta seção são discutidas as avaliações acerca dos resultados. A variável medida é a taxa de entrega obtida através do número de pacotes encaminhados com sucesso na arquitetura V2I em um contexto rodoviário. Nas Figuras 4, estão os gráficos de barras com as taxas de entrega dos quadros de 32 bytes, 64 bytes e 84 bytes em velocidades de 40 km/h e 80 km/h.

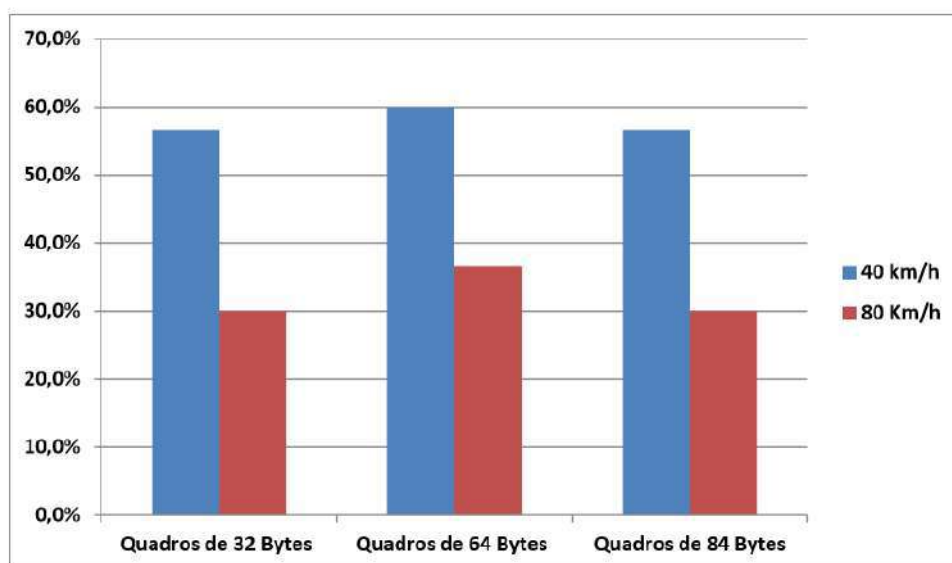


Figura 4. Taxa de Entrega para os Quadros

O gráfico mostra o comportamento da rede para todas as velocidades testadas. Isso indica que as métricas e técnicas utilizadas obtiveram um desempenho positivo na análise do padrão submetido. Notamos que os resultados das taxas foram bastante estáveis para todos os níveis combinatórios. Nos envios de quadros com tamanho de 32 bytes em velocidade a 40 km/h a taxa de entrega foi de aproximadamente 56% e de 30% para 80 km/h. Tal resultado foi igualmente obtido para quadros com 84 bytes. Já para os quadros com 64 bytes se obteve uma pequena melhoria na taxa de 60% de entrega para 40 km/h e de 36% para 80 km/h.

7. Conclusão

Podemos concluir que o padrão pode ser adotado para aplicações que trabalham em contexto veicular, porém há uma série de particularidades a serem analisadas para que possam ser implementado em âmbito real. Alguns desses questionamentos diz respeito a que tipo de aplicação se adequaria às tecnologias usadas nos protótipos (*onboard* e *offboard*), e também como as tecnologias se comportam em conjunto. Através dos resultados notamos que o padrão IEEE 802.15.4, em relação a envios de dados consecutivos em pequenas velocidades, suprem de forma positiva as entregas e o tempo de conexão útil para o enlace dos nós. Entretanto há uma certa degradação da rede em altas velocidades para todas as combinações feitas. Nota-se que o padrão se comportou de forma estável mesmo com o aumento dos tamanhos dos quadros. Isso denota que o padrão atende a envios de quadros mesmo que seu *workload* seja aumentado gradualmente e que possíveis colisões são recuperadas e reenviadas. A degradação em altas velocidades pode ter sido causada pelos *buffers* dos módulos Zigbee e pela transferência de dados do *bluetooth* utilizado na aplicação *onboard*. Para trabalhos futuros estuda-se a possibilidade de fazer uma medição acerca da latência e taxa de transferência média dos quadros tomando uso de um método mais aprimorado em combinações como o DoE (*Design Of Experiment*).

Referências

- Alves, R. d. S., Campbell, I. d. V., Couto, R. d. S., Campista, M. E. M., Moraes, I. M., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M., Duarte, O. C. M., and Abdalla, M. (2009). Redes veiculares: Principios, aplicações e desafios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC*.
- Barcelos, V. P., Amarante, T. C., Drury, C. D., and Correia, L. H. (2014). Sistema de monitoramento de veículos usando dispositivos no padrão ieee 802.11 p. *XXXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, SBRC*, page 20.
- Bhargava, K. K. and Singhal, R. (2013). Zigbee based vanets for accident rescue missions in 3g wcdma networks. In *Global Humanitarian Technology Conference: South Asia Satellite (GHTC-SAS), 2013 IEEE*, pages 310–313. IEEE.
- Costa, L. A. G. (2015). Análise da utilização de agentes de software em redes veiculares híbridas utilizando zigbee.
- Filho, S. G. P., de Sousa, R. S., and Soares, A. C. (2016). Impacto do uso de rsus em um protocolo de controle de congestionamento de tráfego baseado em redes veiculares.
- Karyemsetty, N., Samatha, B., and Rao, K. H. (2015). Design and deployment of vehicle tracking system in vanets using xbee pro: Prototype model. In *Communication Networks (ICCN), 2015 International Conference on*, pages 97–100. IEEE.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2010). Redes de computadores e a internet (preferencialmente a 5ª edição).
- Palmeira, P. C. and dos Santos, M. P. (2015). Survey em redes veiculares usando o mixim sobre o omnet++. *Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas*, 1(2):47–56.
- Rodrigues, D. d. S., Faria, D. B., and Azevedo, J. P. d. A. (2015). Telefonia móvel.
- Sant’Ana, A. R. (2014). Sistema de detecção de colisão entre veículos utilizando gps e zigbee.
- Sarakis, L., Orphanoudakis, T., Leligou, H. C., Voliotis, S., and Voulkidis, A. (2016). Providing entertainment applications in vanet environments. *IEEE Wireless Communications*, 23(1):30–37.
- Serrado, R. P., Pedroza, A. d. C. P., de Almeida, H. L. S., and Boas, S. B. V. (2014). Proposta de roteamento para redes veiculares tolerantes a atrasos.
- Shree, K. L., Penubaku, L., and Nandihal, G. (2016). A novel approach of using security enabled zigbee in vehicular communication. In *Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2016 IEEE International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- Soares, R., Galeno, S., and Soares, A. (2016). Simulação de redes veiculares.
- Sukuvaara, T. (2012). Field measurements of ieee 802.11 p based vehicular networking entity. In *Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2012 Fourth International Conference on*, pages 135–139. IEEE.
- Teixeira, F., Silva, V., Leoni, J., Santos, G., Souza, A., Macedo, D., and Nogueira, J. (2013). Análise experimental de redes veiculares utilizando o padrão ieee 802.11 p. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva (SBCUP)*, page 10.