

Alexandre Yukio Umezaki

Walter Mazuroscki

**LOCALIZAÇÃO BASEADA EM RSS (Received Signal
Strength)**

Curitiba - PR, Brasil

31 de julho de 2010

Alexandre Yukio Umezaki

Walter Mazuroscki

LOCALIZAÇÃO BASEADA EM RSS (Received Signal Strength)

Trabalho de Graduação apresentado à disciplina CI083 - Trabalho de Graduação em Organização e Arquitetura de Computadores II como requisito à conclusão do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Eduardo Todt

Curitiba - PR, Brasil

31 de julho de 2010

Agradecimentos

Agradeçemos aos nossos pais, por nos terem trazido para este mundo, e nos criado com tanto amor, sacrifício e dedicação.

Agradeçemos aos nossos irmãos e familiares, pelo apoio que sempre nos deram.

Agradeçemos nossos amigos, pela motivação e alegria nos momentos de desânimo.

Agradeçemos às nossas namoradas, pela paciência, compreensão e carinho.

Agradeçemos ao nosso orientador, pela motivação e auxílio fundamental para a realização do trabalho.

Agradeçemos a Deus, pela fonte infinita de fé e perseverança.

Muito Obrigado!

Sumário

Lista de Figuras	p. v
Lista de Siglas	p. ix
Resumo	p. xi
1 Introdução	p. 9
1.1 Objetivo	p. 11
1.2 Organização do trabalho.....	p. 11
2 Trabalhos Relacionados	p. 13
2.1 Consórcios e Organizações	p. 13
2.2 Artigos relacionados	p. 18
3 Objeto de Estudo deste Trabalho	p. 21
3.1 Objetivos	p. 21
3.2 Base Teórica	p. 22
3.2.1 VANET	p. 22
3.2.2 WSN	p. 25
3.2.3 Semelhanças entre Vanet's e WSN's	p. 26
3.2.4 Intelligent Transportation Systems (ITS)	p. 27
3.2.5 DSRC	p. 30
3.2.6 WAVE	p. 30
3.2.7 MANET	p. 31

3.2.8 IVC (Comunicação Inter-Veicular)	p. 31
3.2.9 RVC (Comunicação entre Veículo e Estrada)	p. 32
3.2.10 Path Loss Exponent - n	p. 32
3.3 Técnicas de Localização	p. 33
3.3.1 Localização baseada em RSS (Received Signal Strength)	p. 33
3.3.2 Localização baseada em TOA (Time-Of-Arrival)	p. 35
3.3.3 Localização baseada em AOA (Angle-Of-Arrival)	p. 36
3.3.4 Localização baseada em TDOA (Time-Difference-of-Arrival)	p. 37
3.3.5 Map Matching	p. 37
3.3.6 Dead Reckoning	p. 37
3.3.7 Image/video processing	p. 38
3.3.8 Localization services	p. 38
3.3.9 Ad hoc localization	p. 38
3.4 Técnica proposta no artigo [19]	p. 38
3.4.1 Descrição do problema	p. 39
3.5 Técnica proposta no artigo [8]	p. 40
4 Implementação	p. 42
4.1 Metodologia	p. 42
4.1.1 API	p. 42
4.1.2 Coleta de Dados	p. 42
4.2 Dados Coletados e Resultados	p. 47
4.2.1 Distância x RSS - Análise da interferência de obstáculos	p. 54
4.3 Localização do AP desconhecido	p. 55
4.4 Implementação do método empírico	p. 57
5 Discussão	p. 60

5.1	Análise do alcance do sinal da rede Wi-Fi ® provida pelo grupo C3SL.....	p. 60
5.2	Análise dos resultados obtidos na implementação do método empírico.....	p. 63
5.3	Trabalhos futuros	p. 64
6	Conclusões	p. 65
	Referências	p. 67
7	Anexos	p. 70

Lista de Figuras

Figura 1	Visão geral da evolução do tópico de pesquisa VANET ao redor do globo. Adicionalmente, estão citados diversos projetos atualmente financiados na UE, Japão, EUA, e outras partes do mundo. [16]	14
Figura 2	Onde: (a) Ambulância - perspectiva da rua, (b) Ambulância - visão aérea, (c) Entrada de veículo em avenida - perspectiva da rua, (d) Entrada de veículo em avenida - visão aérea [11].	16
Figura 3	Onde: (a) Alerta de batida em poste - perspectiva da rua, (b) Alerta de batida em poste - visão aérea, (c) Homens trabalhando - perspectiva da rua, (d) Homens trabalhando - visão aérea [11].	17
Figura 4	Exemplos de técnicas de localização aplicadas em Vanet's. [10]	20
Figura 5	Várias aplicações Vanet's. [10]	20
Figura 6	Por meio de comunicações veículo-veículo e veículo-acostamento, acidentes podem ser evitados (por exemplo, não colidindo com veículos em congestionamento) e eficiência de tráfego pode ser aumentada (por exemplo, tomando rotas alternativas) [16].	24
Figura 7	Modelo para colisões em cadeia [23].	25
Figura 8	Monitorando erupções vulcânicas com Redes de Sensores Sem Fio [2].	26
Figura 9	Acidentes fatais em estradas, em diversas cidades do mundo (/100.000	

habitantes) [36].	28
Figura 10 Medição RSS com interferência obstrutiva. [19]	34
Figura 11 Um nó cego e três emissores de sinal de rádio. [19]	35
Figura 12 Medidas de RSSI no nó cego, relativo aos sinais provenientes dos cluster heads. [19]	36
Figura 13 Erro de localização sobre interferências de obstrução em WPANs [19].	40
Figura 14 Localização dos APs no andar Térreo.	44
Figura 15 Localização dos APs no andar Superior.	44
Figura 16 Localização dos APs no andar Térreo e Superior.	45
Figura 17 Mapa do térreo, onde os experimentos foram realizados. Os pontos verdes indicam locais onde informações de intensidade do sinal foram coletadas. Os grandes pontos azuis mostram as localizações dos 3 AP's de referência. A orientação é Norte (para baixo).	46
Figura 18 Pontos de coleta de dados com numeração adotada.	46
Figura 19 Distribuição dos pontos de coleta de dados no andar Térreo.	48
Figura 20 Distribuição dos pontos de coleta de dados no andar Superior.	49
Figura 21 Gráfico Distância x RSS - Sem Laje	49
Figura 22 Gráfico dispersão Distância x RSS - Sem Laje	50

Figura 23 Gráfico Distância x RSS - Com Laje	51
Figura 24 Gráfico dispersão Distância x RSS - Com Laje	51
Figura 25 Gráfico n x RSS	53
Figura 26 Mediçãoes realizadas em linha, para realizar a analise de obstáculo. Andar Térreo, sem "laje"	54
Figura 27 Mediçãoes realizadas em linha, para realizar a analise de obstáculo. Andar Superior, com "laje"	55
Figura 28 Distância x RSS - Piso Térreo (sem laje) - AP MAC final 19	56
Figura 29 Distância x RSS - Piso Térreo (com laje) - AP MAC final 19	57
Figura 30 vista do Andar Térreo com descrição dos APs locais	60
Figura 31 vista do Andar Superior com descrição dos APs locais	61
Figura 32 vista do Andar Térreo com descrição dos APs de todo prédio	62
Figura 33 vista do Andar Térreo com descrição dos APs de todo prédio com obs-truções	62
Figura 34 vista do Andar Superior com descrição dos APs de todo prédio com obs-truções	63
Figura 35 Planta pavimento térreo - Edifício de provas	71

Figura 36 Planta pavimento superior - Edifício de provas 72

Lista de Siglas

3G	3 ^a Geração
AOA	Angle Of Arrival
AP	Access Point
API	Application Programming Interface
AVM	Automatic Vehicle Monitoring
BS	Base Station
BSS	Base Station Subsystem
C3SL	Centro de Computação Científica e Software Livre
CLH	Cluster Head
dBm	decibéis milliwatt
DSRC	Dedicated Short Range Communication
dwMDS	distributed weighted Multi-Dimensional Scaling
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite
GPS	Global Positioning System
HP	Hewlett-Packard
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
ITS	Intelligent Transportation System
IVC	Inter-Vehicle Communication
LEAN	Laplacian Eigenmap Adaptive Neighbor
Manets	Mobile Ad Hoc Networks
MLE	Maximum Likelihood Estimator
MT	Mobile Terminal
RF	Rádio Frequência
RSS	Received Signal Strength

RSSI	RSS Indicator
RVC	Road-Vehicle Communication
SAE	Society of Automotive Engineers
STI	Sistema de Transporte Inteligente
TDOA	Time Difference Of Arrival
TOA	Time Of Arrival
Vanets	Vehicular Ad Hoc Networks
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
Wi-Fi®	Wireless Fidelity
WSN	Wireless Sensor Network

Resumo

Sistemas inteligentes e tecnologias de comunicação estão a cada dia sendo mais utilizados no trânsito de veículos terrestres automotivos, seja para facilitar a vida dos condutores (disponibilização de mapas e localização em tempo real, tal como provê o GPS - Global Positioning System), seja para prover maior segurança (sensores de alerta de aproximação) ou até mesmo com objetivos de fiscalização (radares). Gradativamente, a utilização dessas tecnologias e sistemas afeta mais e mais pessoas, e na grande maioria das vezes de forma positiva e bem vista.

Com isso, a inevitável e futura implementação de redes de comunicação veiculares (Vanets - Vehicular Ad Hoc Networks) demanda que mais estudos sejam feitos, objetivando dessa forma o desenvolvimento de mecanismos que tornem segura e confiável a utilização em maior escala de sistemas inteligentes de informação e comunicação no trânsito das cidades.

Este trabalho tem o objetivo de implementar o método empírico sugerido no artigo [8], que provê a localização de um terminal móvel em um ambiente de rede sem fio. O método é parte de uma técnica de localização baseada em RSS (do inglês 'Received Signal Strength', ou Força do Sinal Recebido), a qual é uma característica do sinal transmitido, muito utilizada em técnicas de localização por não demandar hardware extra. Outros objetivos deste trabalho são apresentar conceitos importantes relacionados às Vanets e discutir brevemente avanços recentes na área.

Palavras-chave: RSS, Localização, VANET, Wireless.

1 Introdução

Nas últimas décadas, o progressivo aumento da quantidade de veículos em circulação nas grandes cidades tem tornado cada vez mais frequentes os congestionamentos de trânsito, prejudicando principalmente o deslocamento residência-trabalho e trabalho-residência.

Engarrafamentos resultam em recursos desperdiçados, atrasos produtivos (entrega de produtos, materiais, equipamentos, etc.) e dano ao meio ambiente, pois mais resíduos são lançados na atmosfera. Outro agravante é que profissionais que poderiam estar executando suas funções em seus locais de trabalho, ao invés disso estão imobilizados, aguardando que o trânsito se normalize.

Mais veículos em circulação levam naturalmente a um proporcional aumento do número acidentes, de diversos níveis de gravidade e natureza, o que gera perdas significativas. Acidentes implicam em gastos - saúde, segurança, reparos, consertos - além das perdas humanas incalculáveis. A ocorrência de certos desastres no trânsito são inevitáveis, assim como em qualquer outro meio de transporte, mas a frequência e a intensidade dos mesmos podem ser minimizados, com medidas muitas vezes simples e baratas.

Devido a essas questões citadas, o desenvolvimento de mecanismos e tecnologias que possibilitem ao motorista contornar essas situações são cada vez mais necessárias e urgentes. Estudos e pesquisas nessa área visam dessa forma diversas melhorias, as quais são possíveis citar: otimização do trânsito, utilização eficiente de recursos, segurança, preservação do meio ambiente, criação de novos serviços e facilidades.

Estudos mostram que dispositivos de segurança tem o potencial de salvar milhares de vidas e economizar bilhões de dólares a cada ano [5] [9]. Existindo a demanda por informações para esses dispositivos, surgiu a necessidade de se aperfeiçoar meios de comunicação que podem estar presentes em um veículo automotivo terrestre. O surgimento de tecnologias como a comunicação wireless [14] [6] [34] possibilitou um grande aumento da troca de informações, e isso pode ser implantado entre veículos, ou entre veículos e infra-

estrutura de vias. Disso se originaram as VANETs (Vehicular Ad Hoc Networks) [15], uma derivação das MANETs (Mobile Ad Hoc Networks) [21], sendo as primeiras redes modeladas para atender a necessidade de comunicação que o trânsito das cidades hoje requer.

Um dos principais focos na implantação das VANETs é o de se determinar com precisão e rapidez a posição de todos os veículos próximos, em um determinado trecho da via (uma avenida por exemplo). Através desse mapeamento, a topologia da rede pode ser determinada, tornando conhecidos a quantidade e o posicionamento dos nós, os quais formam a base necessária para se iniciar a comunicação entre os terminais móveis (do inglês 'Mobile Terminal' - MT).

Fatores como alta velocidade, interferências, ruído, obstáculos ao sinal, indisponibilidade dos serviços que provêm a localização, necessidade de infra-estrutura e dispositivos auxiliares, tornam não trivial a tarefa de localização. Várias técnicas para se melhorar a confiabilidade e exatidão da localização de MT's tem sido propostas, como se pode verificar em [27] [37] e [10].

Este trabalho tem, entre seus objetivos, o de apresentar conceitos importantes relacionados às Vanet's, discutir brevemente avanços recentes nessa área, e implementar uma técnica de localização em rede wireless. Apesar de a técnica escolhida ter sido implementada em um ambiente fechado, a mesma pode ser aplicada (com as devidas adaptações) ao ambiente externo, que é a realidade das Vanet's.

O motivo da implementação em ambiente fechado foi a grande disponibilidade e acessibilidade às redes Wi-Fi ®, hoje bastante disseminadas em lugares como universidades, escolas e outros ambientes públicos. Muitas técnicas de localização wireless facilmente podem ser prototipadas e testadas em ambientes fechados (principalmente devido a maior comodidade e conveniência) e depois serem aplicadas (com algumas alterações) para ambientes abertos.

Outra meta deste trabalho é divulgar esse novo ramo de pesquisa, que já está dando seus primeiros passos no mundo real e prático, perceptível pela atual proliferação e utilização em maior escala do GPS, e também pelos sistemas inteligentes (por exemplo, sincronização de semáforos) em uso e cada dia mais presentes no trânsito das cidades.

O Sistema de Transporte Inteligente (STI) [36] promete ser o próximo grande salto do trânsito de veículos terrestres rodoviários; trará mais segurança, otimização do fluxo, diminuição de custos, e oferecimento de serviços e comodidades antes inimagináveis,

como por exemplo a coleta eletrônica de pedágio, já em uso na Europa, Japão e também em São Paulo (pedágio "Sem Parar" [3]).

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é implementar uma técnica que obtém a localização de um terminal móvel (ou nó) em uma rede wireless. Na realidade das Vanet's (onde a topologia é dinâmica) tal tarefa pode se tornar facilmente complexa e custosa, sendo que os seguintes fatores devem ser levados em consideração:

- Local em que o MT se encontra (a distância em relação ao *textitbase point*, a existência de obstáculos para a transmissão de sinal);
- Estado do MT (velocidade atual, trajeto previsível ou não);
- Infra-estrutura existente (existência de *base points*, quantidade e alcance do sinal deles);
- Hardware presente no MT (GPS ou outros serviços que permitam sua localização e rastreamento).

Muitas técnicas como GPS, Map Matching, Dead Reckoning, Cellular Localization, Image/Video Processing tem sido propostas, tais como as apresentadas em [10].

Entre as muitas técnicas de localização existentes nas VANET's, esse trabalho tem por objetivo apresentar as mais conhecidas e importantes, e se dedicar ao estudo experimental e aprofundado de uma delas.

1.2 Organização do trabalho

A primeira parte introduz ao assunto das VANETs e informa os objetivos do presente trabalho, entre eles implementar uma técnica simples de localização wireless.

A segunda parte apresenta uma revisão bibliográfica dos trabalhos recentes na área, em específico sobre os que abordam o assunto de localização em redes de comunicação wireless.

A terceira parte pretende aprofundar-se no objeto deste trabalho, apresentando a técnica (ou algoritmo) de localização a ser implementada, sua base teórica, e como se pretende chegar ao objetivo.

A quarta parte descreve a metodologia utilizada, implementação e testes realizados, assim como os resultados obtidos.

A quinta parte contém uma breve discussão sobre as análises feitas e os resultados encontrados, assim como sugestões de trabalhos futuros na área.

Na sexta parte tem-se a conclusão deste trabalho.

2 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo será feita uma abordagem dos consórcios e organizações criados para o estudo das Vanet's e em seguida a exposição de assuntos relacionados discutidos em artigos dessa área.

2.1 Consórcios e Organizações

As VANET's têm sido alvos de grande interesse e intenso estudo nos últimos anos, principalmente por parte das nações mais desenvolvidas. Europa, EUA e Japão têm objetivos concretos de implantar, em breve e em larga escala, as tecnologias existentes (comunicação wireless, GPS, automação veicular) no trânsito terrestre, tanto para aumentar a segurança - evitando ou minimizando a gravidade dos acidentes - quanto para prover serviços - como, por exemplo, acesso à internet e sugestão de rotas.

Vários consórcios foram criados nesse sentido [16], envolvendo grandes fabricantes de veículos, governos, universidades e outras organizações. Entre os principais consórcios, podemos citar: Vehicle Safety Communications Two Consortium (EUA), Car-to-Car Communication Consortium (União Européia) [11] e Network on Wheels (Alemanha) [22]. Entre as metas estão planejar como serão essas redes veiculares e estudar formas de se viabilizar e implementar as VANETs nesses países, com as partes envolvidas trabalhando de forma colaborativa e integrada.

A Figura 1 exibe vários projetos e consórcios envolvendo Vanet's pelo mundo.

Na página web inicial do consórcio Car-to-Car [11], por exemplo, são informadas a missão e objetivos do projeto:

- o desenvolvimento e lançamento de um padrão europeu aberto para Sistemas de Transportes Inteligentes cooperativos e processo de validação associados com foco em Sistemas de Comunicação Inter-Veículos;

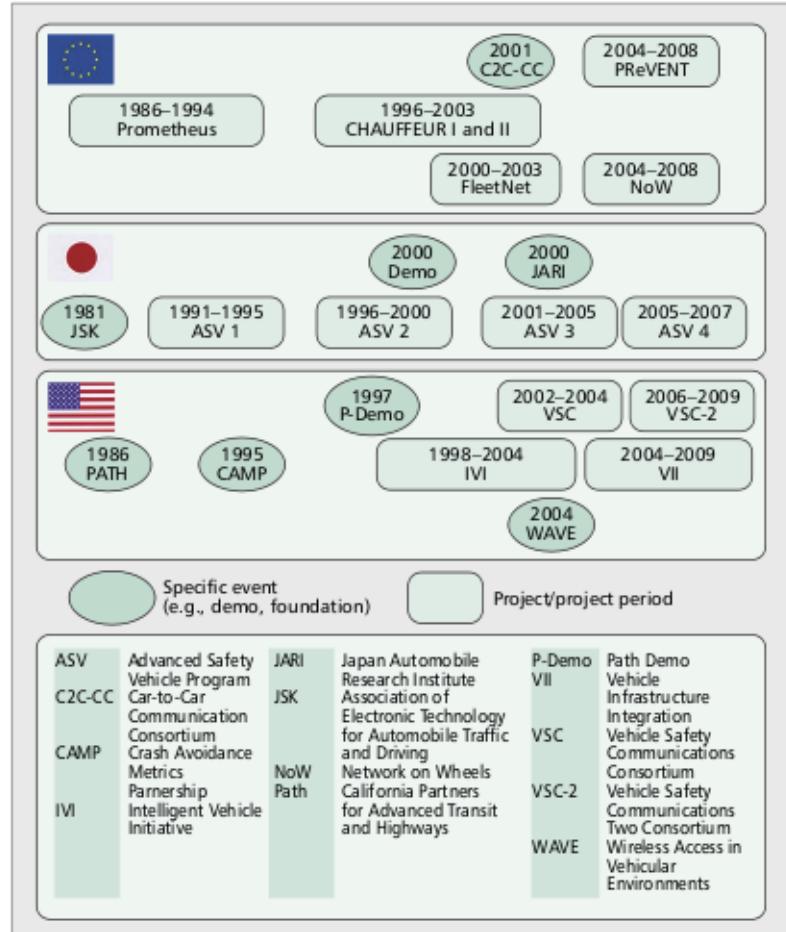


Figura 1: Visão geral da evolução do tópico de pesquisa VANET ao redor do globo. Adicionalmente, estão citados diversos projetos atualmente financiados na UE, Japão, EUA, e outras partes do mundo. [16]

- ser um contribuidor-chave para o desenvolvimento de um padrão europeu e associado processo de validação para infra-estrutura de comunicação Veículos-2-Estrada a ser interoperáveis com o padrão de comunicação inter-veicular especificado;
- oferecer suas especificações e contribuições para as organizações de normalização, incluindo em particular a ETSI TC (European Telecommunications Standards Institute - Technical Committee), a fim de alcançar normas européias comuns para SIT;
- estimular a harmonização dos padrões de comunicação Car-2-Car em todo o mundo;
- promover o direito a alocação de uma rede gratuita na Europa, com frequência de banda exclusiva para aplicações Car-2-Car;
- para desenvolver estratégias de implantação realistas e modelos de negócios para acelerar a penetração no mercado;

- para demonstrar o sistema Car-2-Car como prova de viabilidade técnica e comercial.

Como se pode perceber, a criação e disseminação de padrões são as metas principais desse consórcio europeu.

Em Car-2-Car [11] também é informado uma das razões da criação do projeto Car-2-Car:

”A Comissão Européia prevê um pesado aumento da quantidade de veículos (nos próximos anos). Para manter a mobilidade no futuro, a Comissão Européia lançou o eSafety Programme e uma série de programas de pesquisa e desenvolvimento para contribuir para a redução de fatalidades nas estradas e melhorar a eficiência e a ecologia do tráfego rodoviário. À medida que o potencial futuro das medidas de segurança passivas é limitado, novas medidas de segurança ativas são necessárias para abrir o potencial de segurança adicional necessários, por exemplo, prevenção de acidentes.”

As Figuras 2 e 3, disponibilizados na página web Car-2-Car [11], demonstram como uma Vanet seria útil, quando implementada no trânsito urbano.

Organizações profissionais também têm se mobilizado para criar padrões, normas e protocolos relativos às VANET's, visando facilitar a comunicação e consequente intercâmbio de informações, diminuindo assim as barreiras para a realização de progressos nessa área. Entre essas entidades podemos citar o IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) [18], a SAE (Society of Automotive Engineers) [29] e a ETSI (European Telecommunications Standards Institute) [13].

O IEEE [18] promove a engenharia de criação, desenvolvimento, integração, compartilhamento e o conhecimento aplicado no que se refere à ciência e tecnologias da eletricidade e da informação, em benefício da humanidade e da profissão. Criado em 1884, nos EUA, o IEEE é uma sociedade técnico-profissional internacional, dedicada ao avanço da teoria e prática da engenharia nos campos da eletricidade, eletrônica e computação. A IEEE está atualmente desenvolvendo um padrão para as redes veiculares, o IEEE 802.11p. De fato, esse novo padrão é uma adaptação do IEEE 802.11 [17], cuja finalidade é permitir conexão sem fio em ambientes veiculares que suportem as aplicações de Sistemas Inteligentes de Transporte.

O 802.11 é o padrão para as redes wireless comuns (popularmente conhecidas como redes Wi-Fi ®). Uma das adaptações feitas no 802.11 para ser utilizado nas Vanets

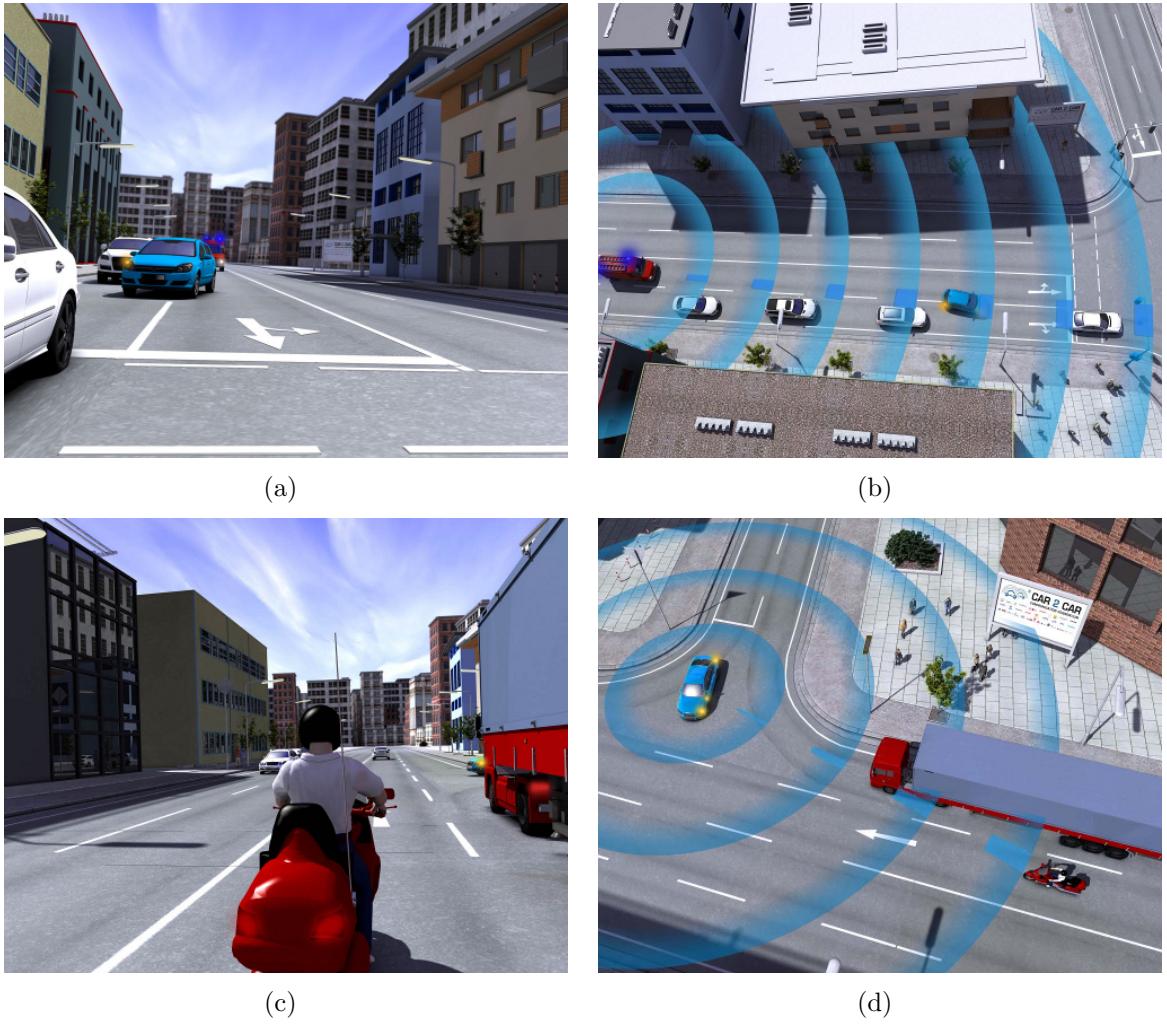


Figura 2: Onde: (a) Ambulância - perspectiva da rua, (b) Ambulância - visão aérea, (c) Entrada de veículo em avenida - perspectiva da rua, (d) Entrada de veículo em avenida - visão aérea [11].

é possibilitar a troca de dados entre veículos em altas velocidades e entre veículos e infraestrutura da via, na banda licenciada para a ITS, de 5,9 GHz (5,85-5,925 GHz) [17].

A SAE [29] é uma associação sem fins lucrativos que congrega pessoas físicas (engenheiros, técnicos e executivos) unidas pela missão comum de disseminar técnicas e conhecimentos relativos à tecnologia da mobilidade em suas variadas formas: terrestre, marítima e aeroespacial. A SAE foi fundada fundada em 1905, nos Estados Unidos, por líderes de grande visão da indústria automotiva e da então nascente indústria aeronáutica, dentre os quais se destacam Henry Ford, Thomas Edison e Orville Wright e tornou-se uma das principais fontes de normas e padrões relativas aos setores automotivo e aeroespacial em todo o mundo, com mais de 5 mil normas geradas e 85 mil sócios distribuídos em 93 países [29]. A SAE desenvolveu um conjunto de padrões relacionados aos ITS (Intelligent Transportation Systems) [30] nos quais padroniza tipos, formatos e hardware utilizado

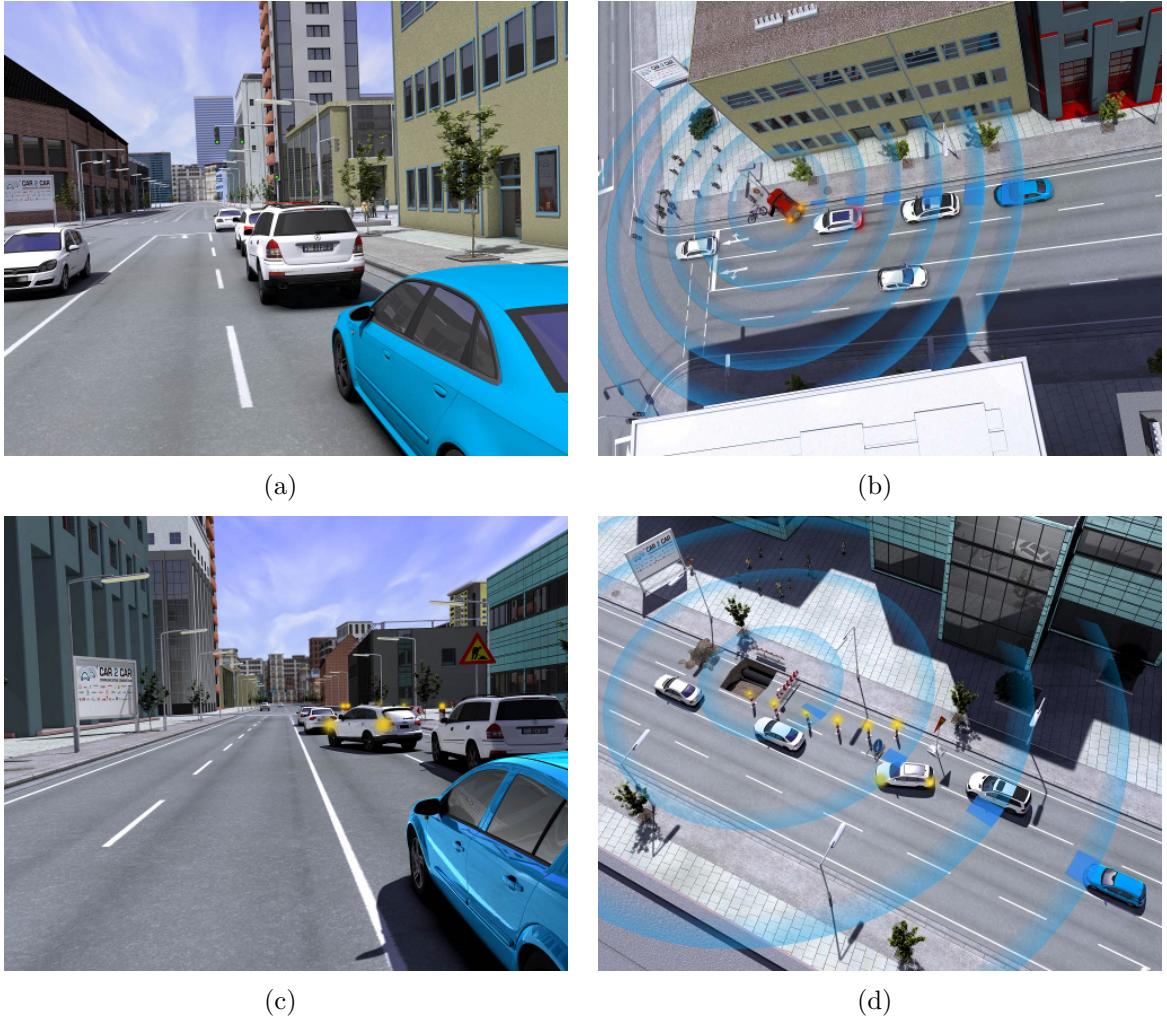


Figura 3: Onde: (a) Alerta de batida em poste - perspectiva da rua, (b) Alerta de batida em poste - visão aérea, (c) Homens trabalhando - perspectiva da rua, (d) Homens trabalhando - visão aérea [11].

nas comunicação de dados em veículos.

Um detalhe interessante é que a adoção desses e outros padrões relacionados as VANET's terá que vencer, a longo prazo, o chamado "efeito de rede" [16], no que se refere a veículos equipados com dispositivos que permitam a comunicação entre eles. O "efeito de rede" (termo da Economia) diz que "o valor agregado para um cliente depende do número total de outros clientes que tenham instalados em seus veículos a tecnologia Vanet" [16]. Ou seja, se não houver veículos em quantidade suficiente que torne vantajoso um motorista equipar seu carro com tecnologia Vanet, então ele certamente não o fará. Nesse caso, o problema principal é como convencer proprietários que não possuem a tecnologia a instalá-los em seus veículos. Entre algumas alternativas estariam tornar obrigatório a existência do dispositivo (por lei), oferecimento de vantagens por parte das seguradoras, e disponibilizar aplicações atrativas para a nova tecnologia.

2.2 Artigos relacionados

Em Porreta [27] é mostrado como o serviço de localização de usuários móveis seria bastante útil, por exemplo, em casos de chamadas de emergências feitas pelo Enhanced 911 [33], o "190" dos EUA. Além disso, também citam outras possíveis utilizações, em aplicações como "páginas amarelas móveis", aplicações "onde eu estou", serviços de navegação, cobrança sensível à localização, aviso de restaurantes e hotéis próximos.

Também em Porreta [27] é citado que a localização de posição pode "otimizar os serviços de interesse público, como gestão de frota de veículos, assistência na estrada, encaminhamento de tráfego, agendamento de veículos em tempo real. A localização de posição em tempo real pode também ser usado para rastrear pessoal em serviço (por exemplo, policiais, equipes de resgate, bombeiros, etc.), crianças perdidas, suspeitos criminosos e veículos roubados. Finalmente, a localização de posicionamento permite a prestadores de serviços melhorar o projeto da rede e otimizar a utilização de recursos."

Existem várias técnicas de localização de terminais móveis, e Porreta [27] se dispõe a explicar algumas delas. O artigo diz que "as mais eficazes são aquelas baseadas em técnicas de localização a rádio que explora as medições de quantidades físicas relacionadas com os sinais de rádio que viajam entre a MT e um determinado conjunto de transceptores, cuja localização é conhecida, por exemplo, estações rádio-base (BSS) e/ou satélites de navegação.

Medição de sinais de rádio são normalmente Força do Sinal Recebido (RSS), o Ângulo de Chegada (AOA), o Tempo de Chegada (TOA), e a Diferença de Tempo de Chegada (TDOA) [24]. Mais recentemente, algoritmos de localização a rádio baseados em um combinação dessas medidas citadas também foram propostas. Tais técnicas híbridas garantem um alta precisão na localização, o que é cada vez mais necessário nos serviços de localização de alto valor agregado, tais como aplicações de segurança e jogos para celulares."

O problema de se localizar um terminal, seja ele móvel ou não, é também um dos principais objetos de estudo nas Redes de Sensores Wireless (WSN's - Wireless Sensor Networks). Em Yun [38] se percebe que as soluções propostas são idênticas às existentes para as VANET's, utilizando também técnicas como AOA, TOA, TDOA e RSS. Isso se deve porque as características das redes de sensores são bastante semelhantes as das redes wireless de veículos (o que será exposto mais adiante neste trabalho).

Outro grande desafio quando se trata de localização de terminais móveis, seja em

VANET's ou WSN's, é em relação à veracidade das informações captadas. Assim como em qualquer outra rede de comunicação, existe o risco de uma parcela dos nós agirem com má intenção, com o objetivo de sabotar o funcionamento do sistema ou obter vantagens frente a outros terminais e usuários. Entre as formas de ações maliciosas estão informar posição falsa (Sybil attack), congestionar a rede enviando pacotes inúteis continuamente (flood attack), ou simplesmente transmitir dados incorretos.

Nesse sentido, Yan [37] propõe uma nova técnica, utilizando para isso de radares embutidos nos veículos, capacidade de processamento (com computadores de bordo) e comunicação wireless. Em linhas gerais, a idéia sugerida é garantir determinado nível de segurança local, por meio da utilização dos dispositivos auxiliares citados e, combinando as várias áreas providas com segurança local, possibilitar um certo grau de segurança global.

Existem várias outras técnicas para localizar a posição de terminais móveis, utilizando comunicações wireless, além das baseadas em parâmetros de sinal a rádio. Rapaport et al [28] expõe algumas técnicas, entre elas o clássico Sistema de Posicionamento Global (GPS), que na verdade é baseado em um sistema time-of-arrival (TOA); Loran C, desenvolvido na década de 1950 pelo Departamento de Defesa dos EUA e que usa um sistema hiperbólico a pulso para triangulação; Navegação sobre Postes de Sinalização (Signpost Navigation), que se baseia em transmissão de posição de postes espalhados regularmente em rodovias por exemplo; Sistema de Navegação Global por Satélite (GLO-NASS), uma iniciativa do governo russo com princípios de funcionamento similares ao GPS; Monitoramento Automático de Veículos (AVM), um sistema que provê capacidades de localização de posição de um grande número (comboio ou frota) de veículos simultaneamente; Geo-localização Celular, que reside na idéia de utilizar a infra-estrutura já existente das bases de estações celulares [28].

Em Boukerche et al [10] também são expostas várias técnicas de localização, conforme Figura 4. O artigo cita o GPS e a Localização Celular, além de outras técnicas como Map matching, Dead reckoning, Image/video processing, Localization services e Ad hoc localization (essas últimas cinco técnicas são explicadas na próxima seção).

O mesmo artigo também comenta sobre as várias utilidades da aplicação das Vanet's no trânsito terrestre, conforme é possível observar na Figura 5.

No final do artigo é proposto uma técnica chamada Data Fusion, que basicamente seria uma combinação das técnicas citadas para criar um sistema de localização mais robusto, requerido para a maioria das aplicações críticas de segurança nas Vanet's.

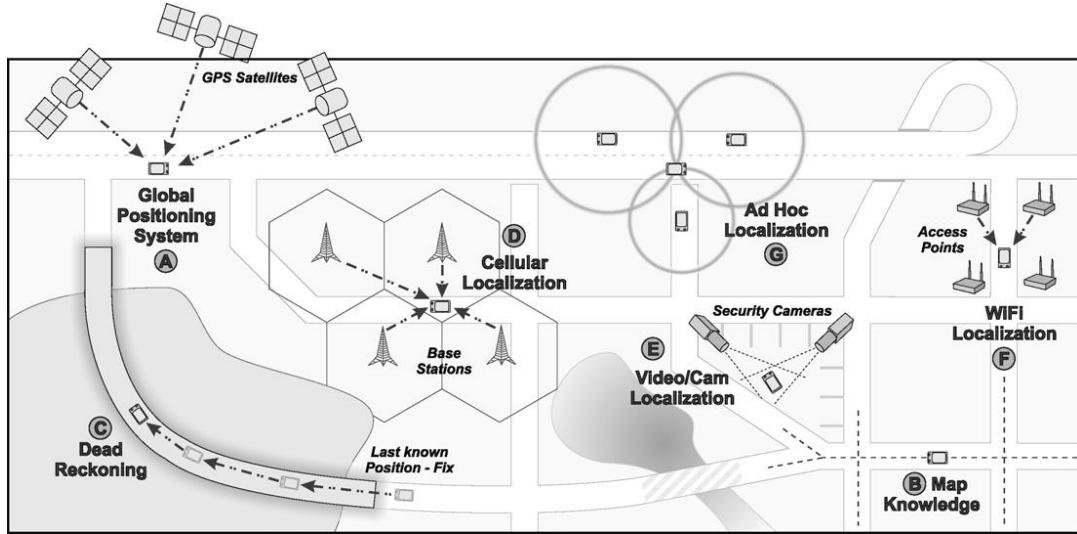


Figura 4: Exemplos de técnicas de localização aplicadas em Vanet's. [10]

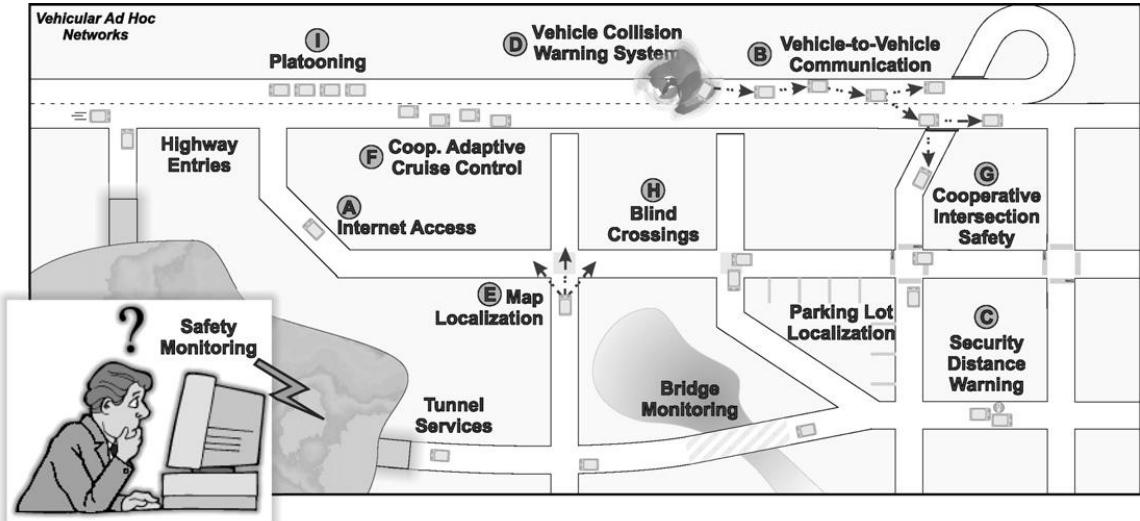


Figura 5: Várias aplicações Vanet's. [10]

Combinações de técnicas são bastante atrativas, uma vez que podem possibilitar o aumento da confiabilidade e precisão das técnicas quando aplicadas separadamente. Parker et al [23], por exemplo, propõe e simula um algoritmo que usa estimativas de distância entre veículos, fazendo uso de uma tecnologia baseada em alcance de sinal a rádio, para localizar um veículo entre seus vizinhos (veículos próximos). Entretanto, o algoritmo baseado em Indicador de Força de Sinal Recebido (RSSI) é utilizado em conjunto ao GPS pois este, apesar de "prover relativa exatidão para áreas planas abertas, em locais onde o raio de visão para múltiplos satélites não é possível, ainda existe o potencial risco de falta de disponibilidade e degradação de operação".

3 Objeto de Estudo deste Trabalho

Neste capítulo são abordados: os objetivos específicos do presente trabalho; uma apresentação da base teórica necessária para o entendimento dos próximos capítulos; e por fim as duas técnicas nas quais são baseadas as implementações, testes e análises deste trabalho.

3.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é implementar uma técnica simples de localização em um ambiente com rede wireless. Para tanto, serão utilizados como base os artigos ”Robust localization over obstructed interferences for inbuilding wireless applications” [19] e ”Radar: an in-building RF-based user location and tracking system” [8].

O artigo [19] propõe um prático e robusto algoritmo de localização em ambientes com obstruções, utilizando um sistema de localização baseado em RSS, combinado com os algoritmos Maximum Likelihood Estimation - MLE (Estimativa de Máxima Probabilidade) e Min-Max (Limites Mínimos e Máximos). O presente trabalho se limitará a utilizar a fórmula da distância em função do RSS (do artigo), não chegando a implementar o MLE ou Min-Max devido a relativa necessidade de conhecimentos mais avançados em Estatística.

O artigo [8], por sua vez, sugere uma técnica de localização que pode ser fundamentada tanto em um método empírico como também em um modelo teórico, de propagação de sinal de rádio. O primeiro método consiste em comparar a força do sinal recebido (RSS) por três *Access Points* com uma tabela contendo informações (previamente coletadas) de diversos pontos da área em questão. Maiores detalhes sobre esse método serão explicados mais adiante.

A variação da técnica com base em um modelo de propagação do sinal utiliza justamente esse modelo para encontrar a relação entre a distância e a força do sinal rece-

bido. Conhecendo essa relação, a localização do terminal móvel poderá ser determinada, sem depender de comparações com dados obtidos previamente. Este trabalho pretende implementar o método empírico e deixar como sugestão o estudo mais aprofundado da técnica baseada em modelo teórico.

A implementação se dará através da utilização de dispositivo computacional móvel (notebook) equipado com conexão sem fio, que será deslocado em uma rede wireless contendo três ou mais dispositivos de referência (Access Points - APs). O notebook fará o papel do terminal móvel (nó sensor, na WSN), cuja localização se deseja determinar, enquanto que os APs serão os *base points* (ou nós âncoras, nas WSNs), cujas posições são conhecidas.

A técnica será implementada em um ambiente estático, ou seja, uma rede wireless formada por *Access Points* fixos.

3.2 Base Teórica

3.2.1 VANET

Vanet - Vehicular ad-hoc network (rede veicular ad-hoc) - são redes de comunicação sem fio estabelecidas entre veículos (Inter-Vehicle Communication - IVC) e entre veículo e estrada ou infra-estrutura (Roadside-to-Vehicle Communication - RVC), durante seu deslocamento em uma via urbana ou rural. Essa comunicação é possibilitada pela instalação de dispositivos (devices) de comunicação nos veículos, tornando estes nós ou terminais da rede [32]. Nas vias, existe a opção de existirem dispositivos para estabelecer a rede - base ou *access points* - ou auxiliarem na propagação do sinal da rede.

O objetivo principal de uma VANET é prover segurança e conforto aos passageiros. Entre os benefícios trazidos por sua implantação estão prover maior segurança no trânsito terrestre, atenuar ocorrências de congestionamentos (que também diminui o nível de impacto ambiental), possibilitar maior e melhor planejamento de tráfego, aumentar o grau de automação na condução do veículo, e oferecer conforto ao motorista. Esses fatores em conjunto criam o chamado Sistema Inteligente de Transporte (ITS - Intelligent Transport System).

As VANET's também permitirão a implantação de diversos serviços e comodidades (ver seção 2.2 - Artigos Relacionados), hoje inexistentes (em maior escala) na maioria dos países. Entre algumas possíveis utilidades de uma VANET estão aplicações como

coleta de pedágio e transações comerciais sem sair do veículo.

Vanet é uma variação da Manet (Mobile Ad-hoc Network), redes móveis ad-hoc. O que mais a diferencia das Manets tradicionais é a alta velocidade que os nós podem atingir, o que dificulta o estabelecimento de conexão entre os terminais e a consequente formação e conhecimento da topologia da rede, que se torna portanto bastante dinâmica. Devido à alta velocidade, a influência das interferências são maiores e mais perceptíveis. A única vantagem, se comparando com redes de sensores por exemplo, é que não existe uma restrição maior quanto a fonte de energia, pois a mesma pode ser constituída pela bateria e combustível do próprio veículo.

A topologia altamente variável, o tempo muito curto de contato e comunicação entre os veículos e a questão da interferência são características que tornam desafiantes a implementação das Vanet's no mundo real. Utilização de ferramentas como bluetooth e tecnologia 3G (3^a Geração) da telefonia celular foram propostas para auxiliar nessa empreitada, mas necessitam modificações para se adequarem ao cenário em questão.

A Figura 6 de Hartenstein [16] mostra um cenário hipotético onde uma vanet seria bastante útil. Caracteriza um congestionamento, onde a comunicação entre os veículos permite a precaução quanto a colisões (se um veículo estiver se aproximando em alta velocidade dos carros parados no engarrafamento) e também possibilita que veículos que estão se aproximando do trecho congestionado tenham a chance de procurar rotas alternativas.

Na Figura 7, outro cenário hipotético, onde a existência de comunicação entre os veículos evitaria um “engavetamento” (colisão de vários carros, um atrás do outro). Neste cenário, algum evento inesperado ocorre no carro 1 e este passa a desacelerar a 4m/s^2 . O carro 2 começa a frear assim que seu motorista visualiza as luzes de freio do carro 1, e por sua vez o carro 3 também começa a frear apenas após perceber as luzes de freio do carro 2. Uma vez que os carros estão em altas velocidades (115 km/h) e as distâncias entre eles são pequenas (com correspondentes intervalos de 1 segundo, nessa velocidade dos veículos), sem a troca imediata de mensagens de aviso entre os veículos, apenas com o reflexo humano as batidas seriam inevitáveis.

A maioria dos problemas de interesse para Manet são de interesse na Vanet, mas os detalhes são diferentes. Ao invés de se moverem aleatoriamente, os veículos tendem a se deslocar de uma forma organizada, normalmente apresentando trechos em que a direção e sentido permanece constante (isso com maior frequência em rodovias e vias rápidas). A tendência também é que a velocidade não varie muito bruscamente, em trechos mais longos e uniformes (vias com poucas curvas, ou com curvas mais suaves), o que provê

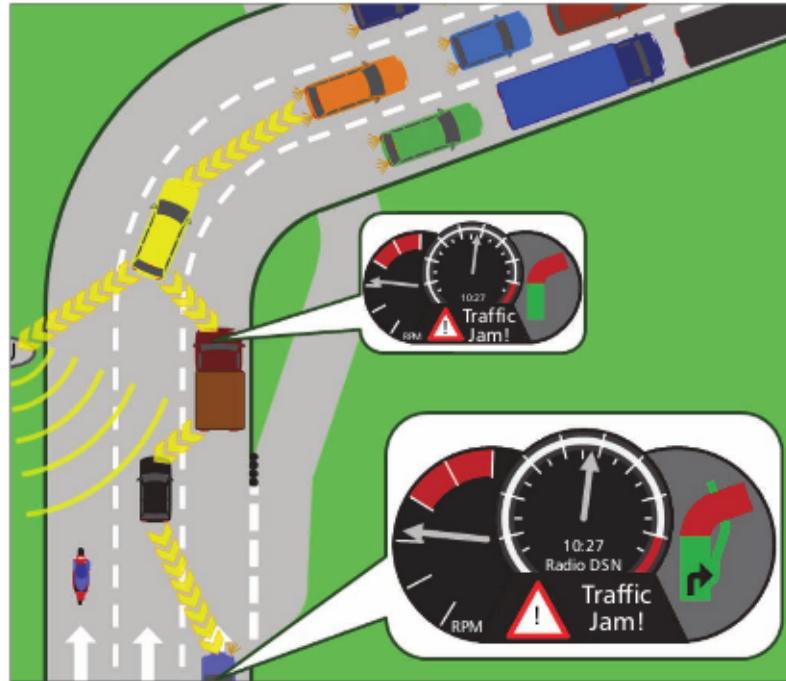


Figura 6: Por meio de comunicações veículo-veículo e veículo-acostamento, acidentes podem ser evitados (por exemplo, não colidindo com veículos em congestionamento) e eficiência de tráfego pode ser aumentada (por exemplo, tomando rotas alternativas) [16].

certa estabilidade (mesmo que temporária) para a formação da rede.

A interação com o equipamento na estrada pode também ser caracterizada de forma bastante exata. Em rodovias, por exemplo, onde o comum é a existência de trechos longos regulares, a velocidade do veículo tende a permanecer constante, fazendo o mesmo percorrer distâncias semelhantes em intervalos de tempo iguais. Isso permite por exemplo, que *base points* sejam instalados a cada intervalo de distância iguais, fazendo com que o veículo sempre esteja em contato com o sinal da via.

Outro detalhe é que a maioria dos veículos são restritos em sua amplitude de movimento, nesse caso serem obrigados a seguir uma estrada pavimentada. A não ser em caso de acidentes ou outro acontecimento eventual (que leve o veículo a sair da via), o normal é que os veículos continuem seus trajetos dentro dos limites da via, no sentido e velocidades permitidos por ela. Por exemplo, não é esperado que um carro fique mudando de pista frequentemente ou então pare no meio da estrada, de forma brusca e sem nenhum

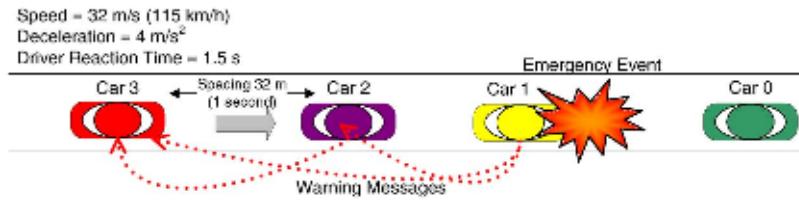


Figura 7: Modelo para colisões em cadeia [23].

motivo importante.

3.2.2 WSN

WSN - Wireless Sensor Networks (redes de sensores sem fio) são estruturas que permitem monitorar um ambiente de forma ubíqua ou onipresente, realizando através dos sensores coleta periódica de dados, e notificando a central de processamento da ocorrência de eventos inesperados e/ou extraordinários. Possibilita também, através de processamento computacional, prever acontecimentos em um futuro próximo. Possui muitas aplicações em cenários domésticos, na área da saúde, meio militar ou indústria [38].

Uma WSN consiste em um grande número de nós que são equipados com um ou mais sensores, espalhados em uma certa área, que realizam comunicação sem fio, e através desta transmitem informações relevantes a respeito do ambiente tais como temperatura, umidade, vibração, luminosidade, etc. Os dados são encaminhados para computadores (servidores, desktops ou notebooks) que realizam o processamento e análise das informações.

Os nós sensores também se comunicam entre si e (usualmente) operam de forma distribuída para atingir um certo objetivo ou tarefa, tais como medir e reportar a presença de um agente químico no ar, monitorar movimentos de tropas inimigas, localizar sobreviventes em áreas de desastres, monitorar ambientes de habitats, detectar defeitos estruturais, etc [7].

A Figura 8 retirada de [2], demonstrando uma utilização de WSN para monitorar a atividade de um vulcão, tanto para fins de pesquisa científica quanto para alerta a

moradores próximos à região.

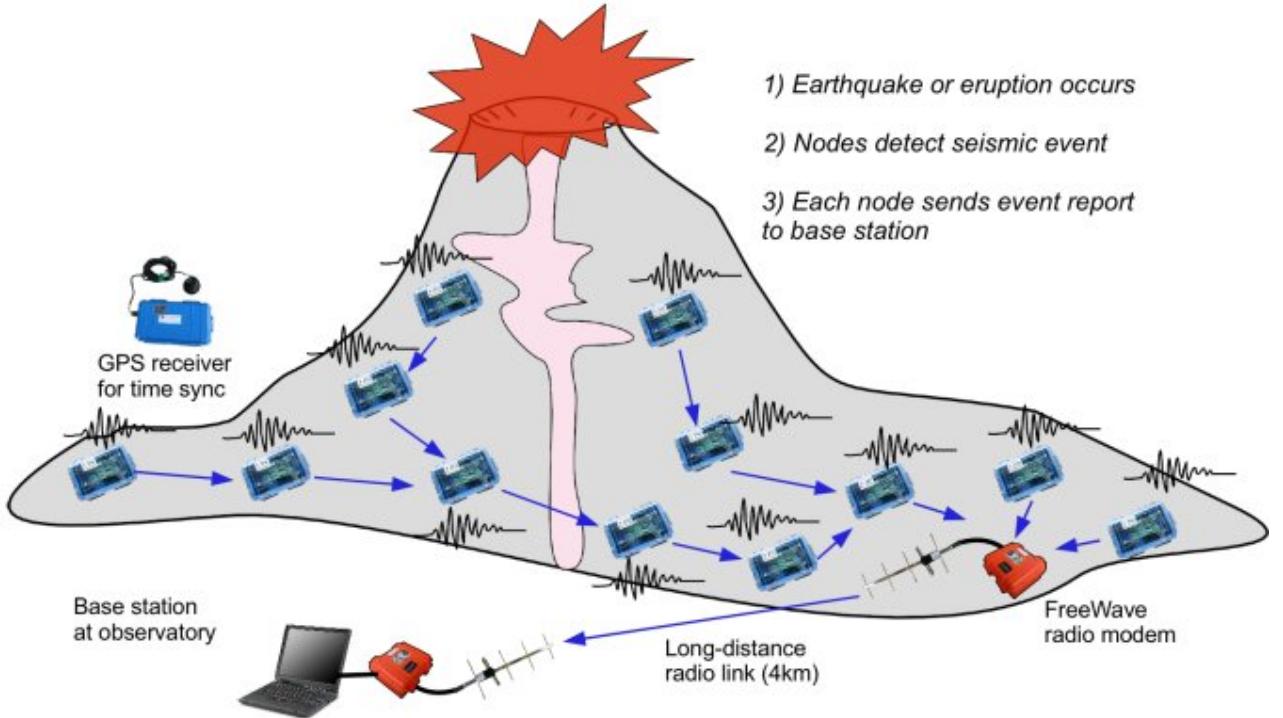


Figura 8: Monitorando erupções vulcânicas com Redes de Sensores Sem Fio [2].

Existem dois tipos de nós ou terminais nas WSN's: nós âncoras e nós sensores. Nós âncoras possuem menos restrições relacionadas a energia e tem dados precisos e atualizados de sua localização, o que é exatamente o oposto dos nós sensores. Em WSN's, um dos principais desafios a se enfrentar é descobrir a localização dos nós sensores desconhecidos, essencial para os serviços baseados em localização [38].

3.2.3 Semelhanças entre Vanet's e WSN's

As Vanet's, assim como as WSN's, baseiam-se em redes geralmente *ad-hoc* e transmissão de dados por sinal wireless. Em alguns casos, as Vanet's podem contar com *base points* fixos nas vias transitáveis (ruas, avenidas e rodovias), e também terem o auxílio de satélites (utilizados, por exemplo, pelo GPS) e outros meios como torres de transmissão (semelhantes aos utilizados pela telefonia celular). Por outro lado, em áreas afastadas como ambientes rurais e outros locais distantes de centros urbanos, pode não existir esse suporte para o levantamento de uma rede Vanet; desse modo, é desejável que os próprios veículos tenham a capacidade de criarem uma rede *ad hoc* entre eles, para realizarem a comunicação necessária.

Ad Hoc, do latim significa "para esta finalidade" ou "com este objetivo". Redes são ditas *ad hoc's* quando não existe uma estrutura compartilhada, por exemplo, um cabo, que seja uma espécie de *backbone* da rede. Os nós se comunicam diretamente, ponto a ponto, e muitas vezes para que uma mensagem se desloque de uma origem para certo destino, é necessário que a mesma passe por diversos nós intermediários; do contrário a comunicação entre os dois pontos em questão provavelmente não seria possível.

Nas redes ad hoc, cada nó ou terminal se comporta como um roteador e um host ao mesmo tempo. Ao contrário das redes fisicamente conectadas, as redes ad hoc - ou Manet's (Mobile Ad hoc NETworks) - possuem uma topologia temporária, justamente porque os nós são (ou podem ser) móveis. Nas WSN's é comum os nós serem fixos. Nesse caso, o termo *ad hoc* também se aplica por serem redes de terminais que simplesmente estão próximos entre si [33].

Em telecomunicações, rede *ad hoc* é um tipo de rede que não possui um nó ou terminal especial - geralmente denominado ponto de acesso ou *base point* - para o qual todas as mensagens de comunicação convergem e que as encaminha para os respectivos destinatários. Dessa forma, uma rede *ad hoc* é aquela na qual todos os terminais assumem o papel de roteadores, repassando de forma comunitária as comunicações advindas dos terminais vizinhos. Isso a torna uma rede caracteristicamente descentralizada.

Nas WSN's, é necessário que pelo menos um nó funcione como estação de processamento das informações coletadas. Isso não significa que o mesmo seja um *base point*, ou roteador da rede; ele apenas funciona como uma espécie de servidor de processamento e armazenamento de dados. Sem esse servidor, a WSN não consegue atingir seu objetivo, que é realizar a monitoração de condições físicas ou ambientais.

3.2.4 Intelligent Transportation Systems (ITS)

Nos últimos anos tem ganhado força no cenário mundial iniciativas que buscam ampliar a aplicação das tecnologias de informação e comunicação no trânsito terrestre, a fim de (entre outros objetivos) prover segurança aos passageiros e melhorar a eficiência do fluxo de veículos. Ao conjunto de técnicas, tecnologias, subsistemas e processos utilizados para essa finalidade é dado o nome de Sistema de Transporte Inteligente (SIT, ou ITS em inglês).

O SIT pode permitir o alcance de um leque de objetivos tais como diminuição de mortes por acidentes, diminuição de congestionamentos, aumento da fiscalização e

monitoramento (por parte de um órgão regulamentador, por exemplo), etc. Pesquisas mostram que o número de óbitos causados por acidentes em vias tem crescido de forma alarmante nos últimos anos, em países como a África do Sul [36] (Figura 9).

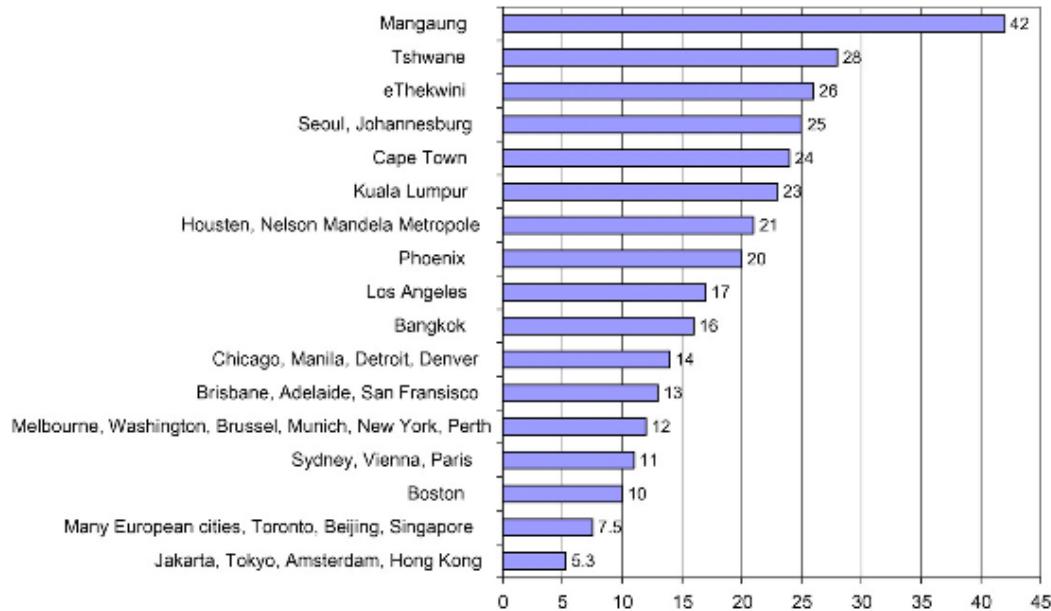


Figura 9: Acidentes fatais em estradas, em diversas cidades do mundo (/100.000 habitantes) [36].

Existem seis benefícios/objetivos principais, identificados na literatura internacional, atribuídos à implantação de um SIT [36]:

1. Segurança (redução do número de colisões)
2. Mobilidade (redução de atrasos e tempo de percurso)
3. Eficiência (otimizar o uso da infra-estrutura existente)
4. Produtividade (redução de custos)
5. Energia / Meio Ambiente
6. Satisfação do cliente (motoristas e passageiros).

Sistemas de Transporte Inteligente variam nas tecnologias aplicadas, desde sistemas de gerenciamento básicos como navegação do veículo, sistema de controle de

semáforos, sinais com mensagens variadas, reconhecimento automático de número de placa ou câmeras de velocidade para monitoramento de vias, a aplicativos mais avançados que integram dados em tempo real e informações de várias outras fontes (como previsão do tempo). Adicionalmente técnicas de previsão estão sendo desenvolvidas, que permitirão modelagens e comparações avançadas com dados baseados em histórico. Algumas das tecnologias tipicamente implementadas em SIT são:

- Comunicação sem fio;
- Tecnologias computacionais;
- Floating car data / Floating cellular data;
- Tecnologias de sensores;
- Detecção de veículos por imagem de vídeo.

Entre as aplicações do Transporte Inteligente estão:

- Coleta eletrônica automatizada de pedágio;
- Sistema de notificação de emergências veiculares;
- Zonas de restrição com taxas para tráfego;
- Fiscalização automática de vias;
- Limites de velocidade variáveis;
- Sistemas anti-colisões.

A implantação do ITS já está em curso. Os radares eletrônicos, amplamente utilizados em capitais brasileiras, é um componente desse sistema. Lombadas eletrônicas, sincronização de semáforos, placas eletrônicas com limite de velocidade variável, também compõem o ITS.

No Brasil já existe um serviço que também faz parte do ITS, uma iniciativa privada que está em franca expansão [3]. É um sistema de pagamento eletrônico (via comunicação com sinais de rádio) para veículos, para cobrança de taxas de pedágios e estacionamentos. O serviço já possui 2 milhões de usuários, espalhados pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Outra demonstração de avanço do ITS é que em outubro de 1999 o Federal Communications Commission (FCC) dos Estados Unidos alocaram o espectro de 75 MHz na banda de 5.9 GHz para o DSRC (Dedicated Short Range Communication), para ser usado justamente pelo ITS. Também na Europa, em agosto de 2008, o European Telecommunications Standards Institute (ETSI) alocou o espectro de 30 MHz na banda de 5.9 GHz, também para o ITS.

A decisão para o uso do espectro no intervalo de 5GHz é devido ao seu ambiente de espectro e as características de propagação, os quais são apropriados para ambientes veiculares - propagações de ondas nesse espectro podem oferecer altas taxas de transmissão de dados para longas distâncias (acima de 1000 metros) com baixa dependência das condições meteorológicas.

3.2.5 DSRC

DSRC (Dedicated Short Range Communication) é um serviço de comunicação de curto e médio alcance que suporta aplicações relacionadas a segurança pública e também a operações privadas, em comunicação de estrada para veículo e veículo para veículo. DSRC é voltado para ser complemento de comunicações celulares, provendo altíssimas taxas de transferência de dados em circunstâncias onde minimizar a latência no link de comunicação e isolar zonas relativamente pequenas são importantes [1].

3.2.6 WAVE

Tecnologia WAVE é a próxima geração da tecnologia de comunicação dedicada de curto alcance (DSRC), que prevê altas velocidades de transmissão de dados V2V (veículo para veículo) e V2I (veículo para infra-estrutura) e tem importantes aplicações em ITS, serviços de segurança dos veículos, e acesso à Internet. Operando em 5,850-5,925 GHz, o sistema WAVE adota multiplexação por divisão de freqüência ortogonal, (OFDM) e atinge taxas de dados de 6-27 Mbs/s.

Comunicações veiculares e redes com base no acesso sem fio da recente tecnologia WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) vem em vista como um estado-da-arte da solução para Intelligent Transportation Systems (ITS), que está prevista para ser amplamente aplicada no futuro próximo, para melhorar radicalmente o ambiente de transporte nos aspectos de segurança, gestão inteligente, e serviços de troca de dados. Sistemas WAVE se basearão no padrão IEEE 802.11p, que ainda está ativo e era previsto

para ser ratificado em 2009 [4].

3.2.7 MANET

Manet é a abreviatura de *Mobile Ad Hoc Network*. Manet's são redes de comunicação sem fio formadas geralmente por nós equivalentes e sem um *base point* ou nó central. Basicamente, são redes móveis sem fio descentralizadas. As características dessas redes incluem:

- topologia altamente dinâmica, com mudanças que podem ser imprevisíveis;
- baseado em *links wireless*, que ainda possuem capacidade inferior às redes com fio similares;
- segurança física é limitada devido à própria natureza da transmissão wireless;
- altas taxas de perdas de sinal e atraso;
- restrições impostas pela limitação de energia, uma vez que os nós são móveis.

Por serem redes constituídas por nós altamente independentes, as manet's tem sua principal aplicação em comunicações táticas militares, e também está crescendo o interesse de sua utilização na área comercial, assim como em missões de resgate quando da ocorrência de desastres naturais, na área educacional e também em redes de sensores.

3.2.8 IVC (Comunicação Inter-Veicular)

A IVC [32] é uma peça-chave das Vanet's e dos Sistemas Inteligentes de Transportes. Constitui-se na comunicação direta entre os veículos, via sinal a rádio, sem a utilização de uma infra-estrutura fixa. Seu esquema é uma forma de Manet, o roteamento dos pacotes é via *multi-hop*, onde os nós intermediários encaminham os pacotes da fonte para o destino. Cada nó pode ser simultaneamente um nó terminal ou um roteador.

A IVC é útil para a comunicação direta em pequenas e médias áreas e em localizações onde não existe nenhuma infra-estrutura na estrada. Essa comunicação é feita objetivando a troca de informações de forma mais imediata, como por exemplo, em um acidente que ocorreu na estrada naquele momento. Ou então para os casos onde veículos precisam trabalhar coletivamente efetuando intensa troca de informações.

A comunicação em grupo é uma área de especial importância visto que essa é uma das formas de se conseguir confiabilidade em situações críticas. É importante destacar o papel essencial das primitivas de comunicação em grupo para esse fim. Protocolos importantes como o consenso, *atomic broadcast*, *group membership* e outros são de fundamental importância no coordenamento de ações entre os nós participantes de uma determinada computação.

Um bom exemplo de como a comunicação em grupo pode ser importante é justamente a criação de sistemas rodoviários totalmente automáticos onde o motorista tem pouca ou nenhuma participação na direção. Obviamente que os veículos precisariam coordenar suas ações no intuito de evitar colisões, dividir o tráfego para minimizar a ocorrência de engarrafamentos. Essa realidade, entretanto, é ainda distante.

Um aspecto importante nesse tipo de rede é que a sua efetiva implantação exige que um número grande de veículos deva possuir alguma tecnologia de comunicação wireless bem como a capacidade de processar as informações. E apesar de muitas montadoras já estarem se preocupando em construir veículos com tais tecnologias, o número de veículos produzidos ainda é pequeno (ver seção 2.1 - Consórcios e Organizações - efeito de rede).

3.2.9 RVC (Comunicação entre Veículo e Estrada)

Já a comunicação entre veículos e a estrada (RVC) trata-se das redes formadas pelos veículos que se comunicam com dispositivos instalados na estrada [32]. Esses dispositivos criam uma infra-estrutura de rede capaz de fornecer serviços como o roteamento de mensagens e até mesmo conectar os veículos à internet. Trata-se de uma rede mais estável, com topologia parcialmente variável e que pode funcionar de forma bastante semelhante à estrutura de telefonia celular já existente ou operar de forma semelhante ao padrão 802.11 em modo infra-estrutura.

A integração entre RVC e IVC é um provável caminho para a construção dos sistemas inteligentes de transporte diminuindo o atraso fim a fim, as perdas de mensagem e o consumo de banda.

3.2.10 Path Loss Exponent - n

No estudo das comunicações wireless, a atenuação de uma onda eletromagnética pode ser representado pelo expoente perda de trajeto (ou expoente de atenuação), cujo valor é normalmente na faixa de 2 a 4 (onde 2 é a propagação no espaço livre, 4 para

ambientes de relativas perdas e para o caso de reflexão especular completa na superfície terrestre - o tão chamado modelo terra-plana) [20].

Em alguns ambientes, tais como edifícios, estádios e outros ambientes fechados, o expoente de perda de percurso pode atingir valores na faixa de 4 a 6. Em contrapartida, um túnel pode funcionar como um guia de ondas, resultando em um expoente de perda de percurso inferior a 2.

As causas da atenuação (ou perda de percurso) normalmente incluem:

- perdas de propagação causada pela expansão natural da frente de onda de rádio no espaço livre (o que normalmente toma a forma de uma esfera cada vez maior);
- perdas de absorção (às vezes chamado de perdas de penetração), quando o sinal passa através de um meio não transparente às ondas eletromagnéticas;
- perdas de difração, quando parte da frente de onda de rádio é obstruída por um obstáculo opaco;
- perdas causadas por outros fenômenos.

O sinal irradiado por um transmissor também pode percorrer muitos e diferentes caminhos para um receptor simultaneamente, este efeito é chamado *multipath*. *Multipath* pode aumentar ou diminuir a intensidade do sinal recebido, dependendo se as frentes de onda *multipath* individuais interferem de forma construtiva ou destrutiva.

3.3 Técnicas de Localização

3.3.1 Localização baseada em RSS (Received Signal Strength)

Entre as diversas técnicas baseadas na medição de atributos do sinal, a RSS apresenta-se como uma das únicas a não necessitar de hardware extra, e ser uma técnica de fácil aplicação [19]. É uma técnica duas vezes mais econômica que as demais técnicas conhecidas, tanto em termos de equipamento quanto em baixo consumo de energia [26].

Entretanto, o resultado da RSS é facilmente influenciado pelas condições do ambiente [24]. Obstruções e obstáculos proporcionam erros de grande relevância, sendo esse um dos maiores problemas dos métodos de localização baseados em RSS [19].

O gráfico da figura 10 demonstra a deterioração do sinal devido a interferências obstrutivas. Nele estão plotados dois sinais capturados, um em ambiente aberto e outro

em ambiente com obstruções. Nota-se que a qualidade de sinal em ambiente aberto é melhor que o sinal em um ambiente com obstáculos.

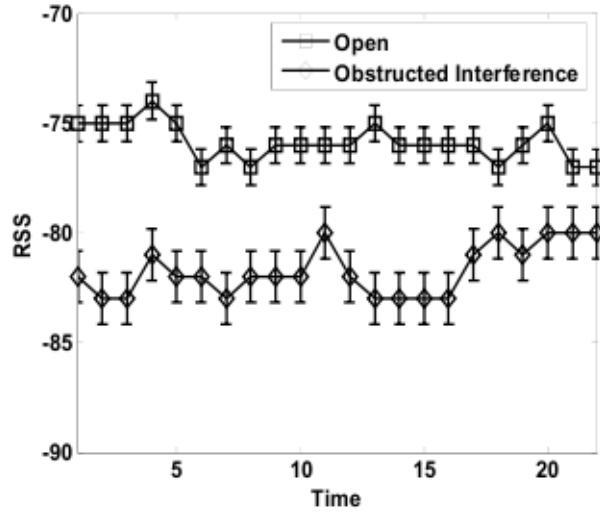


Figura 10: Medição RSS com interferência obstrutiva. [19]

As figuras 11 e 12 demonstram um cenário onde um nó cego (device) está em uma sala que contém dois emissores de sinal de rádio (cluster heads), e um outro fora da sala.

Pelo gráfico dos sinais 12, verifica-se que o sinal proveniente do emissor que está fora da sala (CLH3) apresenta maior atenuação que os sinais transmitidos e recebidos dentro da sala (CLH1 e CLH2). A parede da sala, nesse caso, é o obstáculo (ou obstrução) ao sinal de CLH3, o que provoca sua deterioração antes de chegar ao nó cego.

O funcionamento da RSS é baseado na medição do sinal no receptor e o valor obtido indica a distância até o transmissor [26]. Tal forma de medição por muitas vezes é descartada, pois não leva em conta o ambiente onde está sendo aplicada a medição; logo, corresponde a um resultado não confiável [26]. Para tornar viável a aplicação dessa técnica são estudados diversos algoritmos que procuram adaptar as medições ao sempre variável ambiente [19] [24] [26]. Entre alguns algoritmos conhecidos podemos citar o Isomap [31], o dwMDS [12] (distributed weighted multi-dimensional scaling), o LEAN [25] (Laplacian Eigenmap adaptive neighbor).

Em termos técnicos o RSS é definido como a tensão elétrica medida através de um circuito indicador de intensidade do sinal (RSSI), sendo tal intensidade proporcional

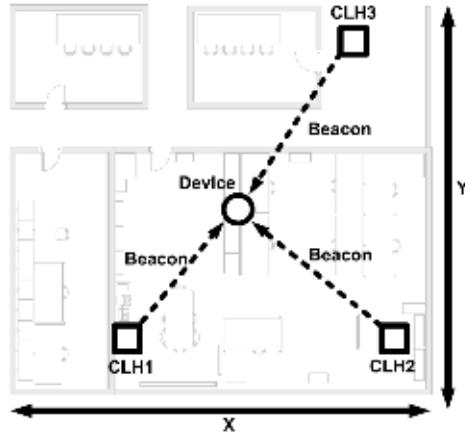


Figura 11: Um nó cego e três emissores de sinal de rádio. [19]

à distância entre o receptor e o transmissor [24]. Frequentemente, o RSS é considerado como potência medida, ou seja, o quadrado da magnitude da intensidade do sinal [24]. Pode ser utilizado para medir sinais de RF (Rádio Frequênci), acústicos e outros [24].

Sensores Wireless comunicando com sensores vizinhos podem ter o RSS do sinal medido para cada receptor durante a transmissão de dados, normalmente, sem nenhum custo adicional de banda ou energia [24].

RSS é um tópico muito importante nas pesquisas sobre localização.

3.3.2 Localização baseada em TOA (Time-Of-Arrival)

TOA é o tempo medido em que um sinal (RF, acústicos, ou outros) chega a um receptor pela primeira vez [24]. O valor medido é o tempo de transmissão somado ao atraso do tempo de propagação. Este atraso, $T_{i,j}$, entre a transmissão do sensor i e recepção do sensor j, é igual a distância entre o transmissor e o receptor, $d_{i,j}$, dividido pela velocidade de propagação do sinal, v_p . Esta velocidade para a RF é aproximadamente 10^6 vezes mais rápida que a velocidade do som [24], ou seja, 1 ms corresponde a 0,3 m na propagação sonora, enquanto para a RF, 1 ns corresponde a 0,3 m [24].

O ponto chave das técnicas baseadas em tempo é a capacidade do receptor de estimar com precisão o tempo de chegada em sinais na linha da visão. Esta estimativa é

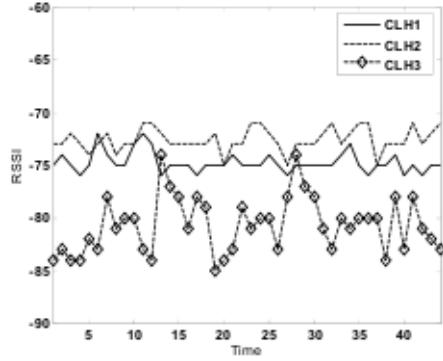


Figura 12: Medidas de RSSI no nó cego, relativo aos sinais provenientes dos cluster heads. [19]

prejudicada tanto pelo ruído aditivo quanto por sinais de multipercorso [24].

3.3.3 Localização baseada em AOA (Angle-Of-Arrival)

Existem duas maneiras nas quais sensores medem o AOA [24]. O método mais comum é usar um *array* de sensores e utilizar a chamada matriz de processamento de sinal nos nós sensores. Neste caso, cada nó sensor é composto de dois ou mais sensores individuais (microfones para sinais acústicos ou antenas de sinais de RF - Rádio Frequência), cujas posições com relação ao centro do nó são conhecidos. A AOA é estimada a partir das diferenças de tempos de chegada de uma transmissão sinal em cada um dos elementos da matriz de sensores.

A segunda abordagem para a estimativa AOA usa a razão RSS entre duas (ou mais) antenas direcionais localizadas no sensor. Duas antenas direcionais apontadas em diferentes direções, de tal forma que suas hastes se sobreponham, podem ser usadas para estimar a AOA partir da relação entre seus valores individuais RSS.

Ambas as abordagens AOA requerem elementos de antena múltiplos, que pode contribuir para custo e tamanho do dispositivo de sensor. No entanto, conjuntos de sensores acústicos podem já ser necessários em dispositivos para muitas aplicações de monitoramento ambiental e de segurança, onde a finalidade da rede de sensores é identificar

e localizar fontes acústicas.

Por fornecer informações sobre a direção de sensores vizinhos, em vez de a distância entre sensores, a medições AOA fornecer informações de localização complementares à TOA e RSS discutido acima [24].

3.3.4 Localização baseada em TDOA (Time-Difference-of-Arrival)

Os algoritmos de TDOA são baseados em medir a diferença no tempo de recepção de sinais de diferentes Base Station's (BSs), sem a necessidade de uma sincronização de todos os participantes BSs e MT. Na verdade, a incerteza entre os tempos de referência dos BSs e do MT pode ser removidas por meio de um cálculo diferencial. Por isso, apenas os BSs envolvidos no processo de estimativa de localização deve ser bem sincronizados.

Para um par de BSs, digamos i e j, o TDOA, T_{ij} , é dada por $T_{ij} = TBSi - TBSj$, onde $TBSi$ e $TBSj$ são os tempos absolutos tomados pelo estouro de chegada nos BSs i e j, respectivamente. Supondo que o MT está em LOS (line-of-sight) com ambos os BSs, i e j, segue-se que o MT deve situar-se em uma hipérbole. Uma segunda hipérbole, onde o MT deve estar, pode ser obtido através de uma medição adicional de TDOA envolvendo um terceiro BS. A posição do usuário pode ser identificada como o ponto de intersecção das duas hipérboles. A solução do sistema de equações pode ser encontrado com um método iterativo e minimização dos quadrados mínimos [27].

3.3.5 Map Matching

Map matching ("correspondência de mapa") se baseia na utilização de dados geográficos armazenados (mapas propriamente ditos) e no fato que o deslocamento de veículos estão limitados a ruas e vias nas quais um veículo tem acesso; dessa forma, através de um histórico de posições recentes (obtidos de um GPS por exemplo), uma estimativa de trajetória pode ser feita e consequentemente a posição do veículo poderá ser encontrada [10].

3.3.6 Dead Reckoning

O Dead reckoning ("computação morta") utiliza um princípio semelhante ao Map Matching, mas ao invés de mapas ele se dispõe de informações como direção do veículo, velocidade, aceleração, distância, tempo, etc. Assim, com essas informações e conhecendo

a posição anterior do veículo, a técnica consegue computar a posição corrente do mesmo. Na prática, essa técnica somente pode ser usada em curtos períodos em que o serviço do GPS esteja indisponível ou combinado com o Map Knowledge, pois por longos períodos de tempo o Dead reckoning pode acumular erros facilmente [10].

3.3.7 Image/video processing

Essa técnica consiste em obter a localização dos veículos através do processamento de imagens e vídeos, obtidos nas vias por onde trafegam os veículos. Esse método é utilizado especialmente em sistemas de orientação de robôs móveis, mas câmeras já existentes em sistemas de segurança de estacionamentos e túneis, por exemplo, propiciam sua utilização no trânsito das cidades [10].

3.3.8 Localization services

Localization services é uma técnica que provê localização de posição dos veículos quando da indisponibilidade do GPS, e é implementada utilizando qualquer infraestrutura terrestre nos mesmos moldes de uma rede Wi-Fi ® por exemplo. Uma vez que existem lugares em que o GPS fica indisponível, tais como túneis, desfiladeiros ou estacionamentos cobertos, é crucial um serviço de localização complementar que não dependa de satélites para seu funcionamento [10].

3.3.9 Ad hoc localization

A localização ad hoc é aquela em que, através da troca de informações e estimando as distâncias relativas entre os veículos próximos, cada veículo consegue calcular sua posição em relação a outros e também em relação a vizinhança. Esse tipo de localização não necessita de uma infra-estrutura externa tais como satélites ou torres de transmissão de sinal. Entretanto, se alguns dos veículos possuem GPS (e portanto conhecem sua posição global), os veículos não equipados com GPS podem se comunicar com os equipados com GPS e calcular sua posição também [10].

3.4 Técnica proposta no artigo [19]

Em Kong [19] é proposta uma técnica de localização baseada na força de sinal recebido (RSS), prática e robusta frente a interferências por obstrução em ambientes

fechados.

Sistemas de localização baseados em RSS são simples e fáceis de serem implementados, pois não necessitam de instalação de hardware adicional para seus funcionamentos.

Por outro lado, o RSS é bastante afetado por influências do ambiente, como obstáculos ao sinal, degradando consideravelmente este e comprometendo fortemente a eficiência do algoritmo de localização utilizado.

Isso torna os sistemas de localização baseados em RSS difíceis de serem implementados e utilizados no mundo real. Várias técnicas baseadas em RSS já foram sugeridas, mas grande parte delas não provêm uma performance satisfatória em ambientes com interferências por obstrução.

3.4.1 Descrição do problema

O funcionamento comum de um sistema de localização é estimar a posição dos nós ”cegos” (cujas localizações não são conhecidas, tanto pelos próprios quanto por outros nós) por meio da posição dos nós de referência (cujas localizações são conhecidas). Essa estimação pode ser feita utilizando como auxílio informações sobre o sinal, aplicados em técnicas como TOA, AOA, TDOA ou RSS.

Assim sendo, conhecendo a posição de alguns poucos nós de referência, a meta é descobrir a posição dos outros nós cujas localizações são desconhecidas. Para que isso aconteça, cada nó cego se comunica com os nós próximos a ele e calcula o RSS referente a cada vizinho. Com o valor de RSS dos vizinhos, é possível descobrir a distância do nó cego em relação a seus vizinhos.

A força do sinal é relacionada com a distância através do modelo de sombreamento log-normal [19]. Baseado neste modelo, a força do sinal entre um nó i e um nó j é calculado pela equação 3.1:

$$rss(i, j) = P_o - 10n \log_{10} \left(\frac{d(i, j)}{d_o} \right) + X_\sigma \quad (3.1)$$

onde P_o é a perda de percurso para a distância de referência, n é o expoente de perda de percurso, $d(i, j)$ é a distância entre o nó i e o nó j , d_o é a distância de referência, X_σ é uma variável aleatória Gaussiana de média zero com desvio padrão γ .

Se as interferências de obstrução não existirem, a força de sinal $rss(i, j)$ pode

ser usada diretamente para o procedimento de localização. Entretanto, se existe a interferência de obstrução entre o nó i e o nó j , a força de sinal $rss(i, j)$ será muito afetada pela interferência de obstrução. Quanto maior for a atenuação do RSS, maior será o erro de medição da distância.

A Figura 13 ilustra o erro de localização causado por interferências de obstrução. Como mostra a figura, a estimativa de posição do nó cego está longe da sua real posição.

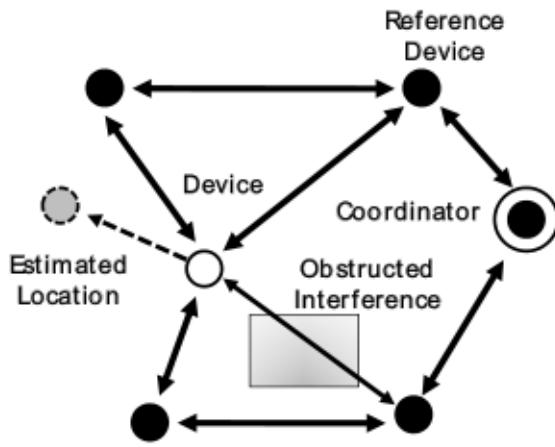


Figura 13: Erro de localização sobre interferências de obstrução em WPANs [19].

3.5 Técnica proposta no artigo [8]

Bahl e Padmanabhan, no artigo [8] - ”Radar: an in-building RF-based user location and tracking system- propõem uma técnica que pode possuir ou uma base empírica ou um modelo teórico para seu funcionamento.

O método empírico consiste em um conjunto de informações, previamente coletados, sobre o sinal (a rádio) de uma rede local wireless qualquer. Os dados caracterizam a força do sinal wireless na área da rede, em cerca de 70 pontos diferentes.

O método de localização se resume em comparar esse conjunto de dados com a força de sinal recebido do terminal móvel em relação a três *Access Points* distintos. Através de uma comparação utilizando Distância Euclídea, é encontrado o ponto que mais se aproxima dos parâmetros coletados naquele local, indicando assim a provável

localização do terminal móvel.

O método com fundamento teórico utiliza um modelo de propagação de sinal para alcançar seu objetivo. O motivo da utilização do modelo é encontrar uma relação (equação matemática) entre a força do sinal recebido e a distância entre os *Access Points* e o terminal móvel. Dessa forma, através dessa equação as distâncias entre os AP's e o terminal são calculadas e a localização do terminal é obtida. Esse método, assim sendo, não depende de uma coleta de dados feita previamente, tal como no método empírico.

4 Implementação

4.1 Metodologia

A metodologia consistiu em coletar dados da rede Wi-Fi ® do prédio do Departamento de Informática, da Universidade Federal do Paraná, campus Politécnico.

As coletas foram feitas com dois notebooks, um da marca HP (Hewlett-Packard) e outro da marca Acer, equipados respectivamente com as placas de rede Wi-Fi Intel® PRO/Wireless 2200BG e Atheros Ar5006x, e sistema operacional Linux.

A planta do prédio de dois pisos foi obtida na prefeitura do campus da universidade, e a localização dos *Access Points* da rede Wi-Fi ® (provista pelo grupo C3SL - Centro de Computação Científica e Software Livre, do Departamento de Informática) foi conseguida com um dos administradores dessa rede.

4.1.1 API

A API (do inglês ”Application Programming Interface- Interface de Programação de Aplicações) utilizada foi o Wireless Tools e o Wireless Extension, e seu manual e outras informações estão disponíveis em [35]. Essa API é parte de um projeto Open Source patrocinado pela Hewlett Packard, desde 1996, e um dos seus principais contribuidores é Jean Tourrilhes, funcionário da HP.

A API consiste em um conjunto de comandos que traz ao usuário informações provenientes da placa de rede sem fio, tais como intensidade dos sinais a rádio detectados (em dBm - decibéis milliwatt), qualidade dos sinais, níveis de ruído, id das redes descobertas, Mac Adress dos Access Points, etc.

4.1.2 Coleta de Dados

As coletas de dados nessa etapa foram feitas com os dois notebooks em diversos pontos do prédio, tanto do piso térreo quanto no primeiro andar. A escolha dos locais de coletas levou em consideração a localização dos Acces Points e a existência de barreiras físicas como paredes e a laje que separa o andar térreo do piso superior.

Para cada coleta foram obtidos 10 amostras, anotando-se a intensidade do sinal a rádio medida (RSS em dBm) para as respectivas redes detectadas, as quais foram diferenciadas pelo final do Mac Address. Para cada 10 amostras anotadas em cada coleta foi feita a média dos valores, para que os mesmos pudessem ser utilizados nas análises e gráficos que serão apresentados mais adiante.

Também foram feitas coletas de referência, com distância tendendo a zero (junto a um Access Point), e outras para analisar a influência da laje na degradação do sinal. Em um primeiro momento, notou-se que a laje que separa os dois pisos é responsável por cerca de 20% de degradação do sinal a rádio transmitido pelos Access Points.

Um detalhe importante é que a capacidade das placas de redes dos dois notebooks mostraram-se ser bastante diferentes, durante as coletas realizadas. A capacidade de detecção e recepção de sinal do notebook da marca HP apresentou performance superior a capacidade da placa de rede do notebook Acer, sendo que em alguns casos o Acer não chegava a detectar sinais de AP's que o HP detectava. Possivelmente essa diferença de capacidade esteja relacionada ao fato do dispositivo Acer ser na verdade um netbook, e possivelmente a simplificação e minimização do hardware reduz a potência do comunicador wireless.

O Anexo 1 e 2 apresentam a planta do térreo e andar superior respectivamente.

Os seguintes *access points*, que formam a rede WiFi ® oferecida pelo grupo C3SL, foram utilizados no estudo:

Final Mac Address	Localização
AB	LIC (Laboratório de Inteligência Computacional) - térreo
19	Sala C3SL - térreo
82	ARG (Laboratório) - 1º andar
5D	Sala profº Fabiano - 1º andar
59	Sala profº Setembrino - 1º andar
49	Desconhecido

A Figura 14 ilustra a disposição dos AP's presentes no andar térreo do prédio.

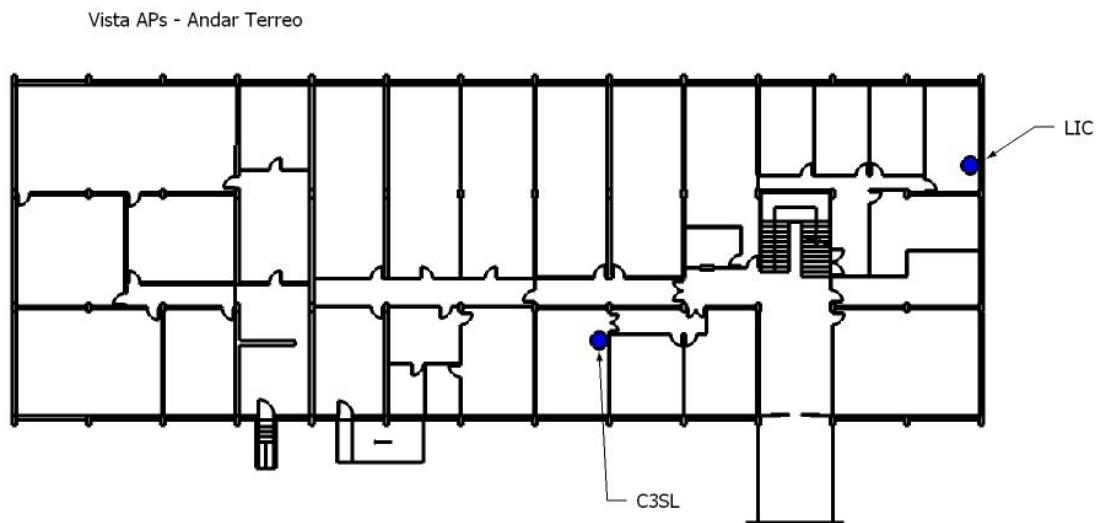


Figura 14: Localização dos APs no andar Térreo.

Já a Figura 15 mostra os AP's presentes no andar superior (1º Andar).

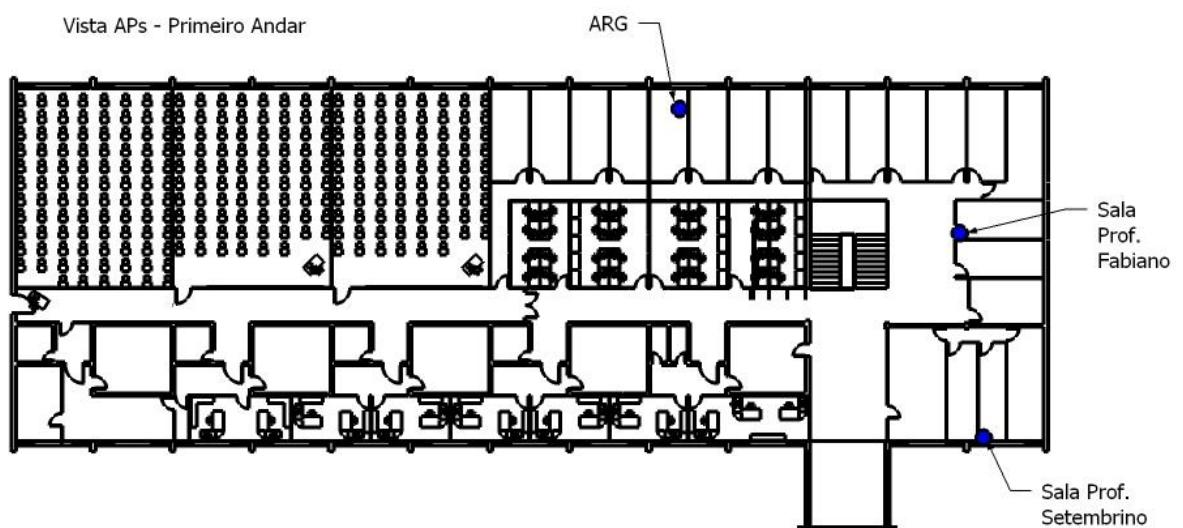


Figura 15: Localização dos APs no andar Superior.

Na Figura 16 foi realizado um cruzamento com a localização dos AP's em ambos os andares, permitindo assim uma facilidade maior na análise da distribuição dos pontos de acesso pelo prédio.

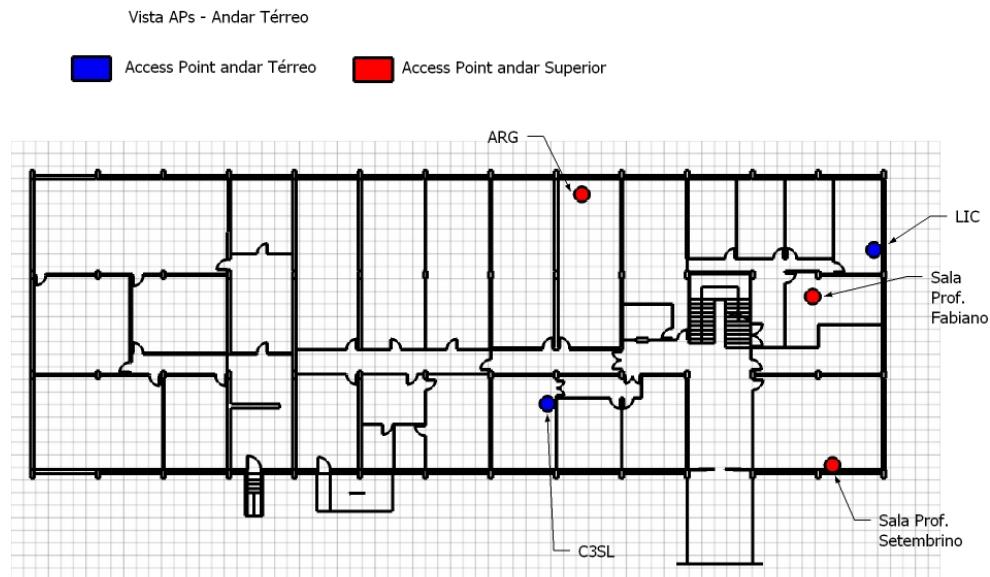


Figura 16: Localização dos APs no andar Térreo e Superior.

ETAPA II

Na segunda etapa, visando implementar o método empírico do artigo [8], foram feitas coletas em 55 pontos diferentes do andar térreo, conforme a Figura 17.

Os pontos de coleta de dados foram ordenados e numerados de acordo com a Figura 18

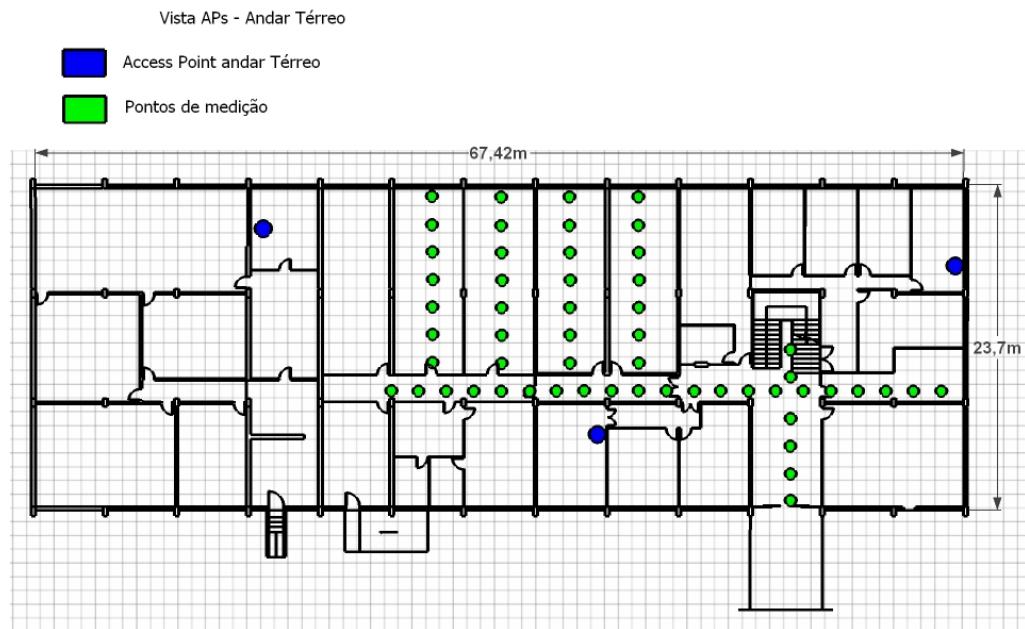


Figura 17: Mapa do térreo, onde os experimentos foram realizados. Os pontos verdes indicam locais onde informações de intensidade do sinal foram coletadas. Os grandes pontos azuis mostram as localizações dos 3 AP's de referência. A orientação é Norte (para baixo).

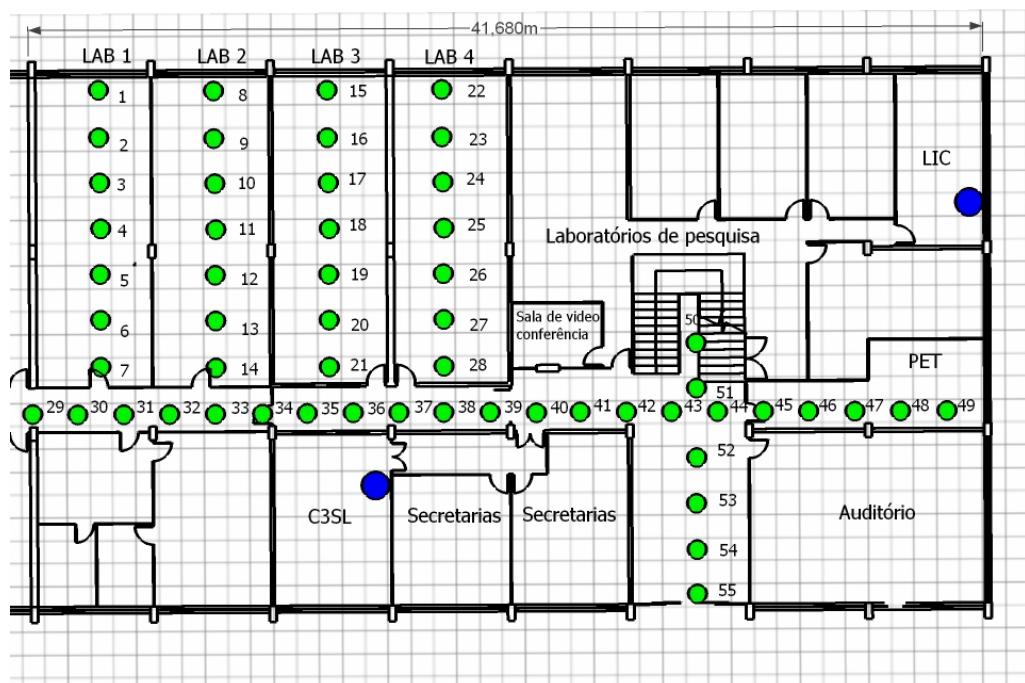


Figura 18: Pontos de coleta de dados com numeração adotada.

Para cada ponto foram feitas 5 medições da qualidade do sinal (RSS, em dBm) com o netbook Acer (escolhido por ser menor e portanto de mais fácil manuseio), sendo que, para fins de uso na implementação, foi calculada as médias dos valores dessas 5 medições.

Todas as medições foram feitas com o netbook sempre disposto na mesma direção - Noroeste, voltado para o lado do prédio onde está a entrada principal do mesmo. O motivo para isso foi que diferentes posições do dispositivo poderiam provocar variações na captação do sinal a rádio [8], interferindo dessa forma nas medições feitas e assim no resultado final da implementação.

4.2 Dados Coletados e Resultados

Observação: As análises e resultados desta seção foram feitas com base nos dados coletados na ETAPA I.

Gráficos Distância x RSS

Os dados na Tabela 1 contêm a relação entre os RSS medidos em cada equipamento, com a distância correspondente aos pontos de medição.

Tabela de dados - Inexistência do obstáculo "laje"(piso que separa o térreo do 1º andar)

As Figuras 19 e 20 possuem a disposição dos pontos de coleta de dados pelos dois andares do prédio.

A Figura 21 apresenta a relação entre Distância e RSS sem o obstáculo laje.

A Figura 22 também apresenta a relação entre Distância e RSS sem laje, mas no formato "dispersão XY", com linha de tendência logarítmica.

Tabela de dados - Existência do obstáculo "laje"

A Figura 23 apresenta a relação entre Distância e RSS com o obstáculo laje, Tabela 2.

A Figura 24 também apresenta a relação entre Distância e RSS com laje, mas no formato "dispersão XY", com linha de tendência logarítmica.

Comentários:

Pelos gráficos RSS vs Distância ("sem laje" e "com laje"), nota-se uma esperada

Tabela 1: *Tabela de dados - Inexistência do obstáculo "laje"*

distância (m)	RSS ACER (dBm)	distância (m)	RSS HP (dBm)
1,5	-43,63	1,5	-34,13
9	-63,63	9	-56,13
9	-51,5	9	-44,38
10,25	-66,25	10,25	-57,75
10,5	-55,75	10,5	-44,63
13,2	-72	13,15	-64,75
15,25	-62,5	13,2	-53,13
16,5	-73,63	15,25	-45
17	-76,25	18,7	-61,5
18	-75,13	19	-62,25
18	-64,25	19,05	-56,5
18,7	-75,75	23,37	-66,13
19	-75,38	25	-70,38
19	-70	30,53	-65,88
19,5	-77,13	32	-76,38
22	-74,75	33,21	-78,88
23,37	-80,75	40	-83,5
25	-84	40,76	-74,88
30	-75,25		
32	-85,63		
40	-87		

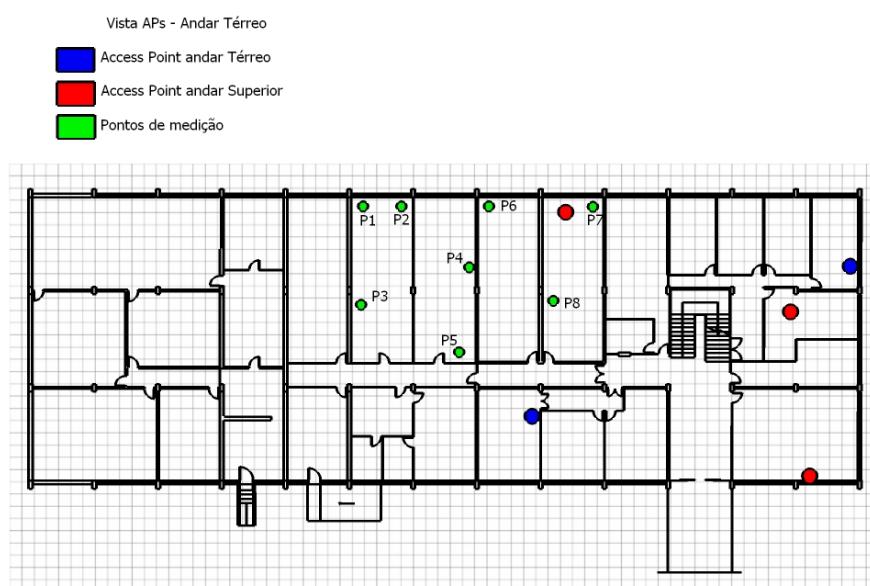


Figura 19: Distribuição dos pontos de coleta de dados no andar Térreo.

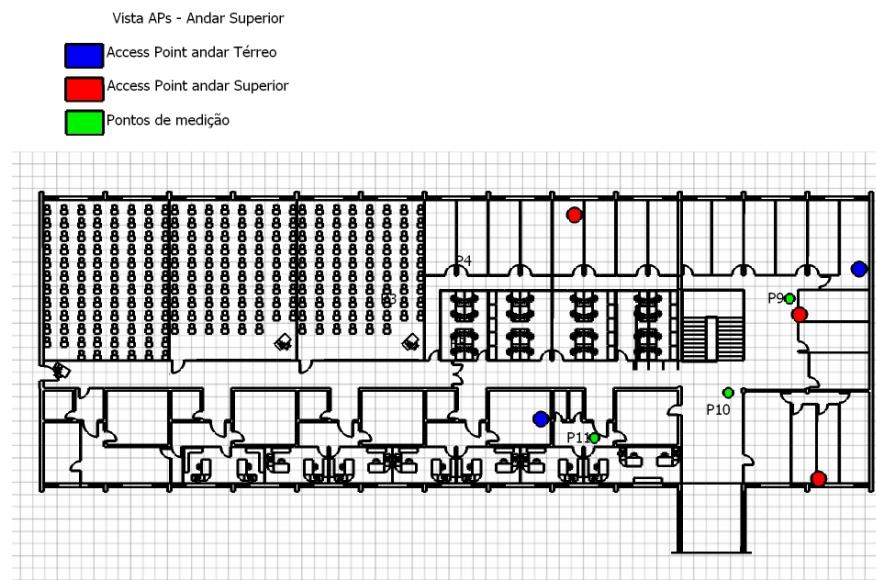


Figura 20: Distribuição dos pontos de coleta de dados no andar Superior.

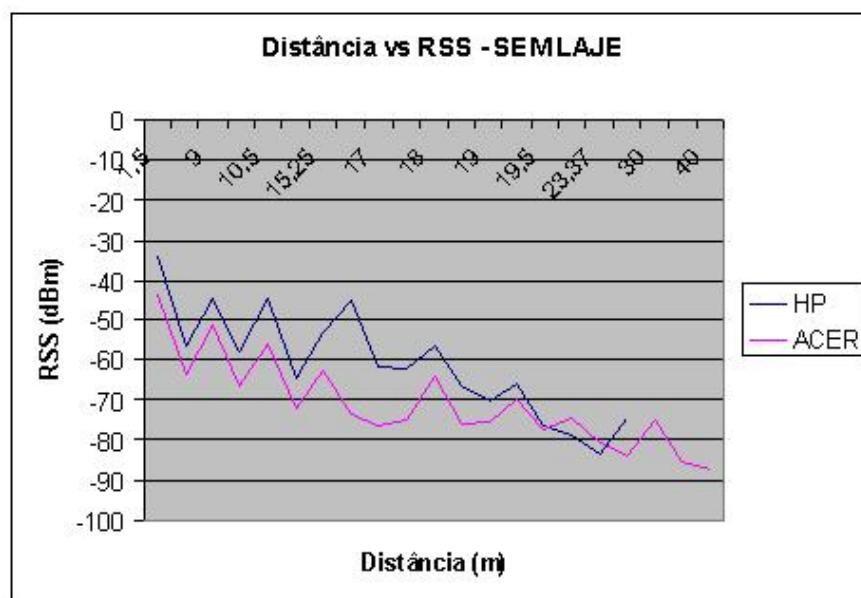


Figura 21: Gráfico Distância x RSS - Sem Laje

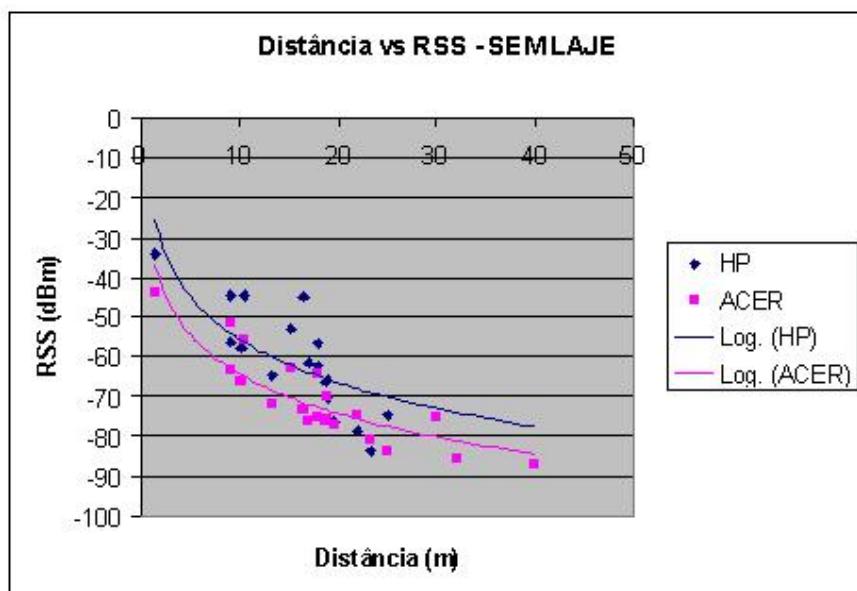


Figura 22: Gráfico dispersão Distância x RSS - Sem Laje

Tabela 2: Tabela de dados - Existência do obstáculo "laje"

distância (m)	RSS ACER (dBm)	distância (m)	RSS HP (dBm)
5,2	-64,38	7,75	-65,38
7,75	-67,25	7,8	-64,5
7,8	-80,63	8,07	-67
8,07	-76,25	10	-70,75
10	-84,25	14,36	-74
10,5	-68,88	15,3	-76,63
13,15	-75,38	17,75	-74,38
14,36	-83,75	17,8	-73,5
15,3	-85,63	18,54	-81
17,3	-85,88	19,9	-77,13
17,8	-84,38	24,68	-70,88
19,9	-82,13		
26,25	-83,63		

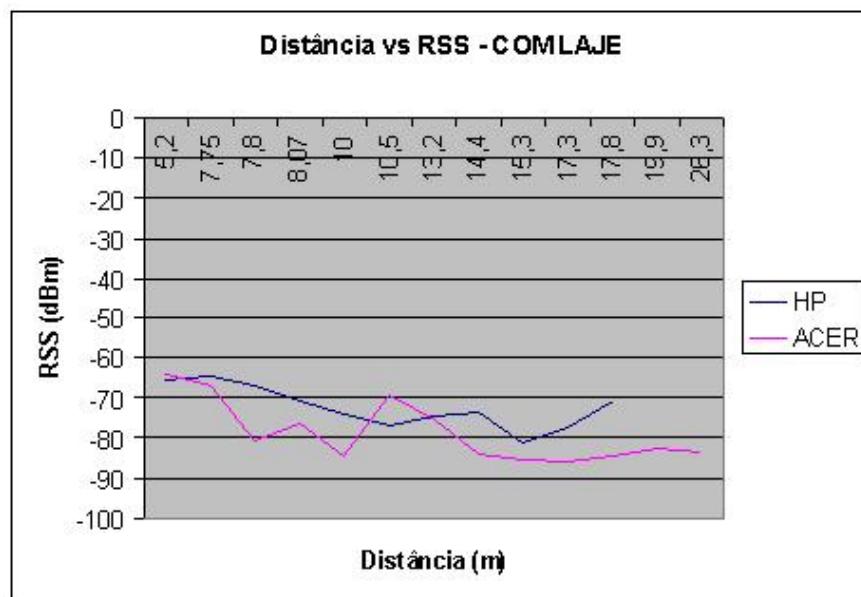


Figura 23: Gráfico Distância x RSS - Com Laje

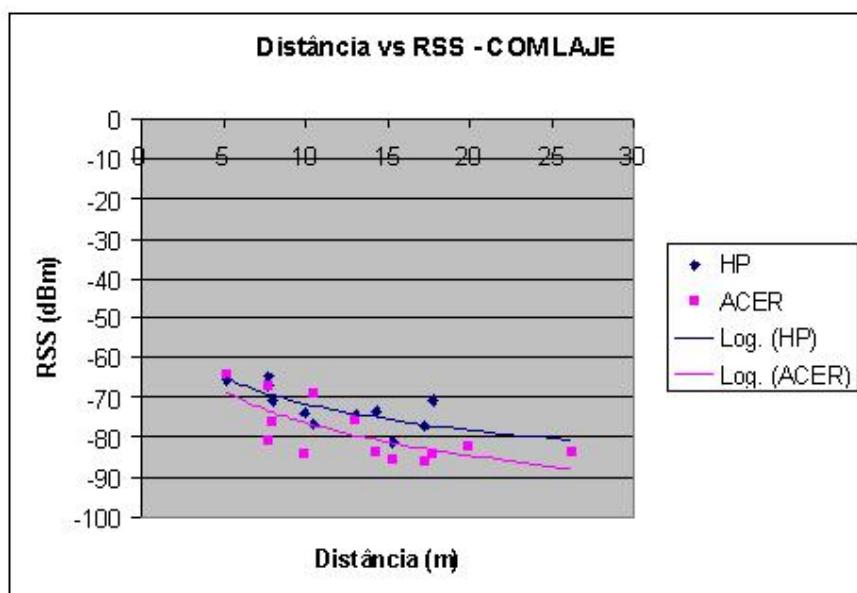


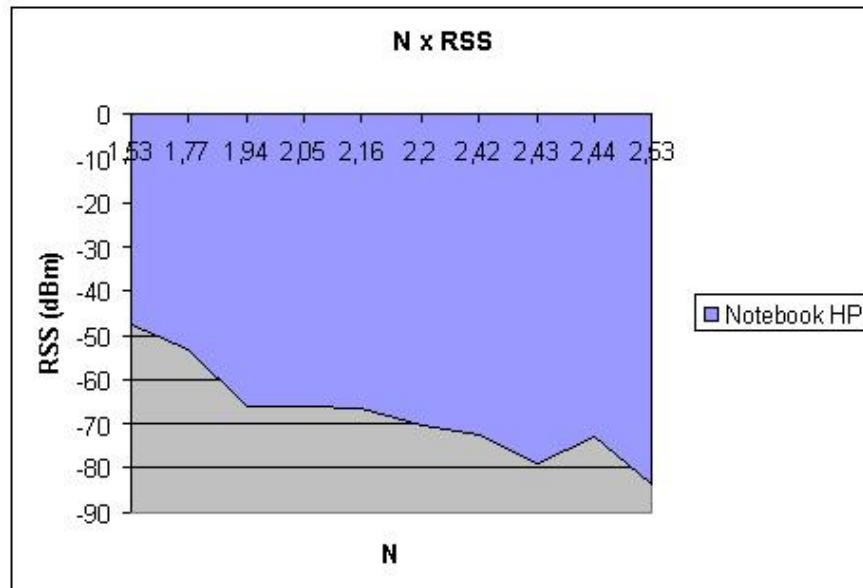
Figura 24: Gráfico dispersão Distância x RSS - Com Laje

degradação do sinal na medida em que a distância entre os notebooks e os Access Points aumenta. Isso acontece por vários motivos: maior percurso que o sinal tem que percorrer, o que faz com que parte das ondas se percam ou se atenuem; existência de obstáculos (paredes, móveis, etc.), que bloqueiam e atenuam o sinal; influência de interferências que modificam o sinal; e diversas outras variáveis de ambiente.

Por ser a fórmula da distância em função do sinal RSS uma equação logarítmica, o gráfico certamente apresenta uma tendência logarítmica, como se pode perceber nos gráficos no formato "dispersão XY". Uma observação a ser feita é que alguns valores podem se apresentar muito fora da tendência devido às margens de erro, seja durante as coletas realizadas quanto nos cálculos de distância entre os notebooks e os Access Points. Outro fator que pode causar essa discrepância está no fato de diferentes coletas, mesmo realizadas em distâncias praticamente iguais, apresentarem quantidades e tipos diferentes de obstáculos (paredes, móveis, etc) no percurso do sinal transmitido [8].

Também comparando os gráficos "sem laje" e "com laje", percebe-se facilmente o quanto a presença de um obstáculo mais denso (a laje que separa o térreo do 1º piso) influencia na qualidade do sinal transmitido. Em percursos sem o obstáculo "laje", o sinal chega a atingir qualidades de até cerca de -35 dBm, enquanto que em percursos onde há a presença da laje, a qualidade do sinal não chega a alcançar a qualidade de -60 dBm.

Por ser a laje composta de concreto e armação de aço (conhecido como 'concreto armado'), um obstáculo muito mais denso e espesso que uma parede de gesso, por exemplo, o sinal tende a ser mais atenuado quando enfrenta em seu percurso um obstáculo como esse.

Tabela $n \times \text{RSS}$ Figura 25: Gráfico $n \times \text{RSS}$ **Tabela 3: $n \times \text{RSS}$**

	N	RSS (dBm)
1	1,53	-47,6
2	1,77	-53,5
3	1,94	-65,88
4	2,05	-66,13
5	2,16	-66,4
6	2,2	-70,38
7	2,42	-72,75
8	2,43	-78,88
9	2,44	-72,8
10	2,53	-83,5

Comentários:

Pelo gráfico da Figura 25 e Tabela 3 percebe-se um aumento proporcional de n (path loss exponent - expoente de atenuação) a medida em que o sinal RSS diminui.

Esse resultado está condizente com a equação 3.1 pois para manter a proporção Distância : RSS, a constante (na fórmula) n deve aumentar quando o valor do RSS diminui.

n é uma constante que depende do ambiente onde o sinal de rádio se propaga. O valor de n se mantém se nenhuma outra variável do ambiente alterar (temperatura, obstáculos, interferências, ruídos, umidade, etc.), e apenas a distância percorrida do sinal

Tabela 4: Tabela dos dados coletados no Térreo - Sem laje

Térreo	
distância (m)	RSS (dBm)
2,75	-49,75
3,12	-56,87
5,2	-67,12
8,15	-59,37
13,32	-74,75

variar.

No gráfico obteve-se diferentes valores de n uma vez que as medidas obtidas foram coletadas em diversos locais do prédio, e também de diferentes Access Points.

4.2.1 Distância x RSS - Análise da interferência de obstáculos

As Figuras 26 e 27 correspondem a um experimento realizado com medições percorrendo uma linha através de um corredor, e tomando como base um único AP (MAC final 19, localizado no Térreo). Foi possível observar a interferência da laje na qualidade do sinal. A Figura 26 representa os pontos de coleta de dados no andar térreo, e a Figura 27 aos pontos de coleta no 1º Andar.

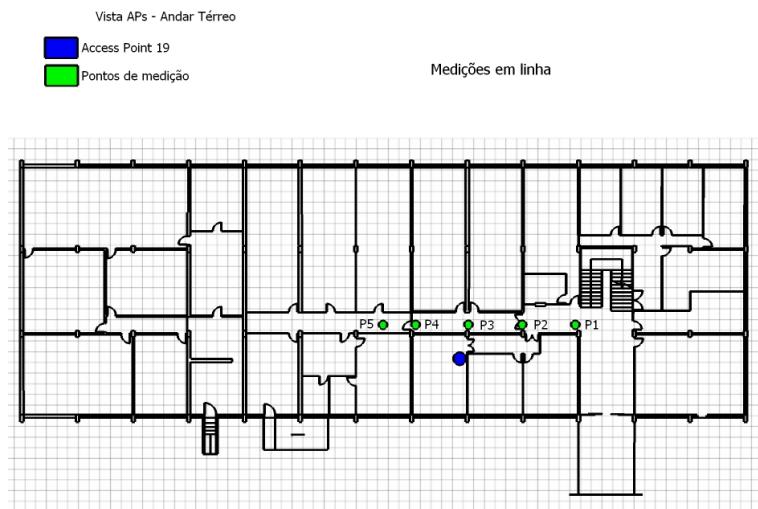


Figura 26: Medições realizadas em linha, para realizar a analise de obstáculo. Andar Térreo, sem "laje"

Em seguida, as Tabelas 4 e 5 apresentam os dados coletados com a relação gráfica 28 e 29 que foram obtidas.

Comentários:

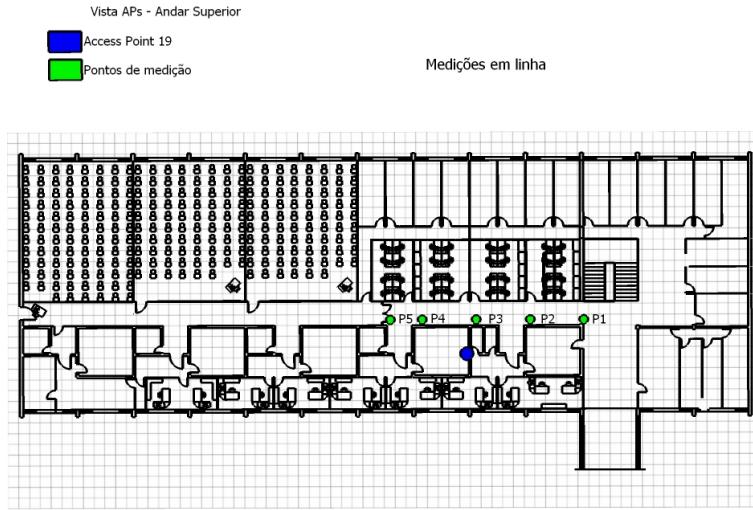


Figura 27: Medições realizadas em linha, para realizar a análise de obstáculo. Andar Superior, com "laje"

Tabela 5: Tabela dos dados coletados no 1º andar - Com laje

1º Andar	
distância (m)	RSS (dBm)
4	-73,87
4,33	-78,25
6	-70,25
8,68	-81,75
13,65	-85,37

Comparando os dois gráficos das Figuras 28 e 29, percebe-se nitidamente a diferença da qualidade dos sinais obtidos sem e com a presença do obstáculo da laje.

No primeiro gráfico (sem obstáculo da laje) 28, as medidas coletadas com o notebook mais próximo do Access Point chegam a quase -50 dBm e em distâncias maiores, a pouco menos de -70 dBm. No segundo gráfico 29, onde o sinal a rádio se depara com o obstáculo da laje, a qualidade decai para cerca de -75 dBm em distâncias menores e cerca de -85 em percursos mais longos.

Isso prova mais uma vez que o sinal a rádio é bastante sensível a obstáculos, nesse caso uma laje de concreto armado que separa os dois pisos do prédio.

4.3 Localização do AP desconhecido

Um Access Point com MAC Address de final 49 foi encontrado durante as medições de coleta de dados. O mesmo não estava na lista de AP's disponibilizada pelo

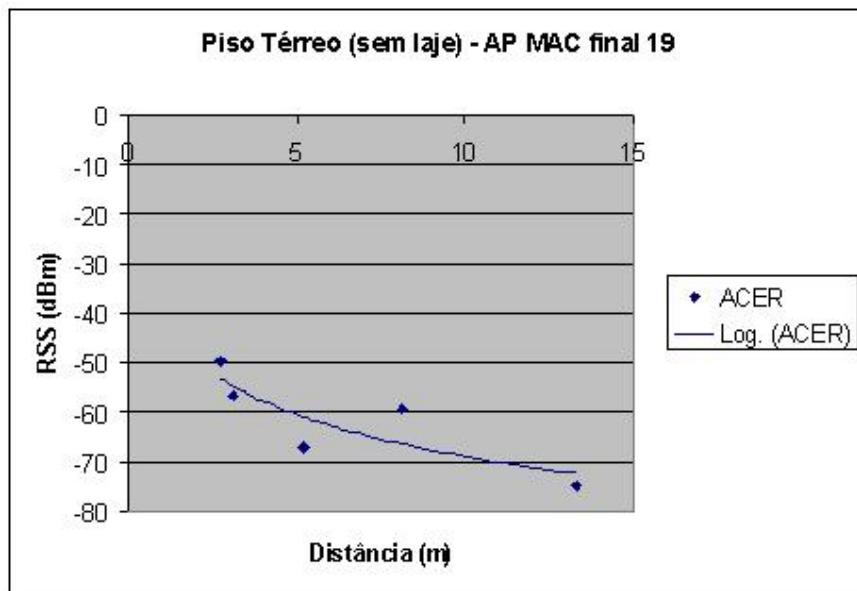


Figura 28: Distância x RSS - Piso Térreo (sem laje) - AP MAC final 19

C3SL. Com isso, um dos objetivos propostos foi a localização física deste AP utilizando lógica reversa sobre os dados coletados.

Com os dados obtidos foram definidos os seguintes pontos:

- A partir dos dados coletados, sempre que o AP desconhecido era localizado, dois valores de referência eram escolhidos entre os resultados da mesma coleta;
- Estas referências são os valores mais próximos em RSS do AP desconhecido, um para cada um dos dois andares;
- Tendo como conhecido o valor da distância entre estas referências e o AP, um ajuste é realizado para igualar os RSS e obter uma distância correspondente da provável localização da fonte do sinal (AP desconhecido);
- Este ajuste é feito com base em uma relação extraída dos resultados onde, para cada 2 unidades de RSS corresponde a uma variação de 1 metro em distância.
- Então, uma circunferência com a distância calculada foi traçada para cada ponto que detectou o AP desejado, tendo essa circunferência uma borda de 1 metro como margem de erro.
- No final, a região que estiver com maior concentração de partes da circunferência identifica o local físico mais provável de se encontrar o emissor em questão.

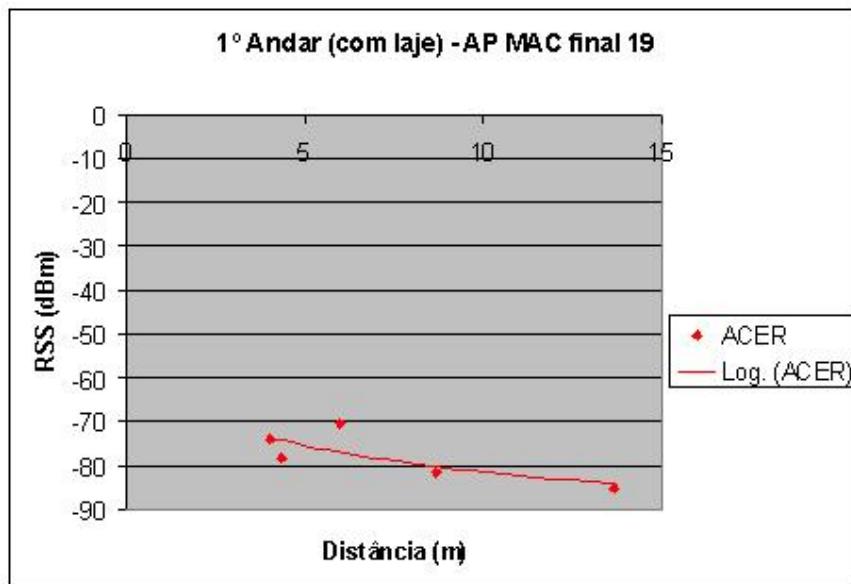


Figura 29: Distância x RSS - Piso Térreo (com laje) - AP MAC final 19

Aplicando essa técnica, conseguimos com relativo sucesso identificar que o AP desconhecido estava localizado no laboratório de estatística.

4.4 Implementação do método empírico

No intuito de implementar o método empírico proposto em [8], um programa em código C foi criado pelos autores deste trabalho.

Programa em C

O programa realiza a comparação da força de sinal recebido (em relação a três AP's) com a base de dados obtida na fase de Coleta de Dados, ETAPA II (seção 4.1.2). Através dessa comparação, a localização do terminal móvel (neste caso o netbook Acer) no andar térreo do prédio do Departamento de Informática é estimada.

O programa funciona da seguinte forma:

1. O programa solicita como entrada três valores RSS, relativos a três Access Points distintos;
2. É carregado na memória a tabela contendo as informações dos 55 pontos, cujos dados foram coletados previamente, conforme explicação na seção 4.1.2;
3. Os parâmetros relativos a cada ponto são comparados com os três valores RSS, solicitados na entrada do programa;

4. Através da Distância Euclediana, cada informação relativa a um Access Point é então comparada com seu respectivo valor da entrada, conforme a Equação 4.1:

$$DistEucled = \sqrt{(rss_1 - trss_1)^2 + (rss_2 - trss_2)^2 + (rss_3 - trss_3)^2} \quad (4.1)$$

onde rss1, rss2 e rss3 são os valores lidos na entrada, e trss1, trss2 e trss3 são os parâmetros dos Access Point em cada ponto da base de dados. e) A menor Distância Euclediana encontrada corresponde ao ponto que mais se aproxima do local onde está o notebook, e suas coordenadas são então enviadas para a saída do programa.

Testes e Resultados

Foram feitos testes em 25 pontos diferentes, no andar térreo, nas mesmas áreas onde foram realizadas as coletas para a composição da base de dados do programa (55 pontos).

A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos:

De acordo com a tabela, é possível inferir que:

- 28% das estimativas possuem exatidão de cerca de 1 m ou menos.
- 52% das estimativas possuem exatidão de cerca de 3 m ou menos.
- 84% das estimativas possuem exatidão de cerca de 5 m ou menos.

Tabela 6: *Tabela de Testes do Método Empírico*

Teste	Estimativa (ponto)	Real (ponto)	Erro Aprox (metros)
1	8	1	5
2	8	4	7,8
3	3	5	4
4	29	7	3,6
5	8	8	0
6	6	9	9,4
7	6	12	5,4
8	32	14	2,8
9	17	15	4
10	16	16	0
11	18	19	2
12	34	20	5
13	6	29	5
14	21	32	7,3
15	34	34	0
16	36	36	0
17	36	38	4
18	27	39	4,1
19	40	41	2
20	42	42	0
21	43	43	0
22	45	44	2
23	44	52	2,2
24	54	53	2
25	55	55	0

5 Discussão

Neste capítulo são realizadas análises do resultados obtidos, e também apresentados sugestões de trabalhos futuros.

5.1 Análise do alcance do sinal da rede Wi-Fi ® provida pelo grupo C3SL

As figuras a seguir indicam a área onde o sinal dos Access Points é acessível em qualidade satisfatória para estabelecer comunicação, com o hardware utilizado, portanto, a área coberta pela rede Wi-Fi ® provida pelo grupo C3SL. Por meio de análise nas duas últimas figuras, pode-se verificar o efeito de obstáculos na atenuação do sinal, quando o AP está em um piso diferente do do usuário da rede wireless.

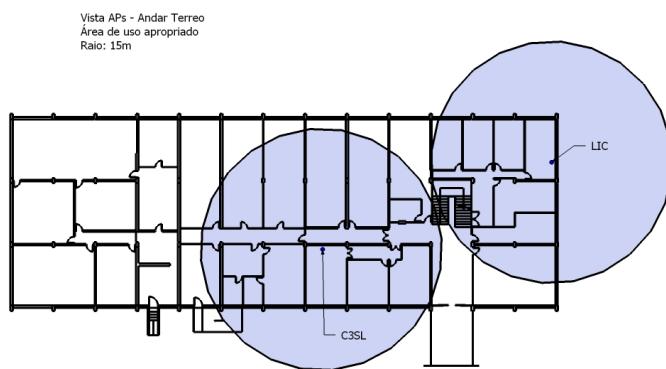


Figura 30: vista do Andar Térreo com descrição dos APs locais

Comentários: A Figura 30 é a vista do Andar Térreo com os AP's presentes nesse andar identificados e com sua respectiva área de uso apropriado. Esta área apropriada foi estipulada como a área que oferece qualidade aceitável de conexão *wireless*.

Comentários: Semelhante a Figura 30, a Figura 31 representa a vista do Andar Superior com os AP's presentes nesse andar identificados e com sua respectiva área de

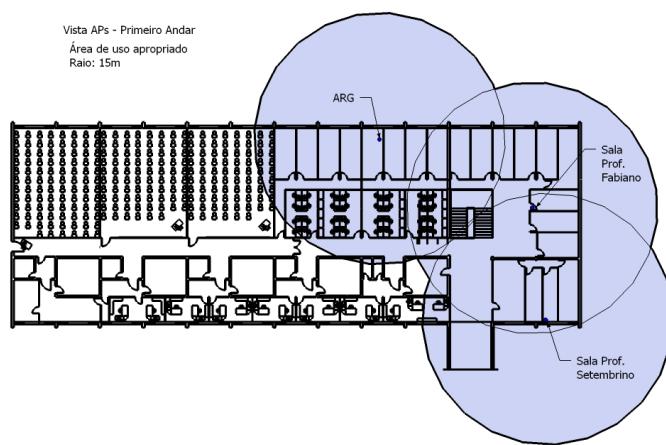


Figura 31: vista do Andar Superior com descrição dos APs locais

uso apropriado.

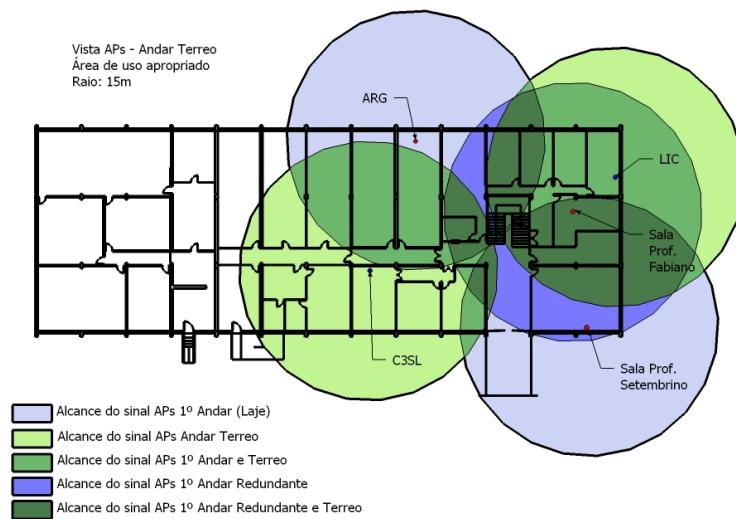


Figura 32: vista do Andar Térreo com descrição dos APs de todo prédio

Comentários: A Figura 32 representa a vista do Andar Térreo com os AP's presentes em todo prédio identificados e com sua respectiva área de uso apropriado. Nesse caso não está sendo considerado o efeito das obstruções na qualidade do sinal.

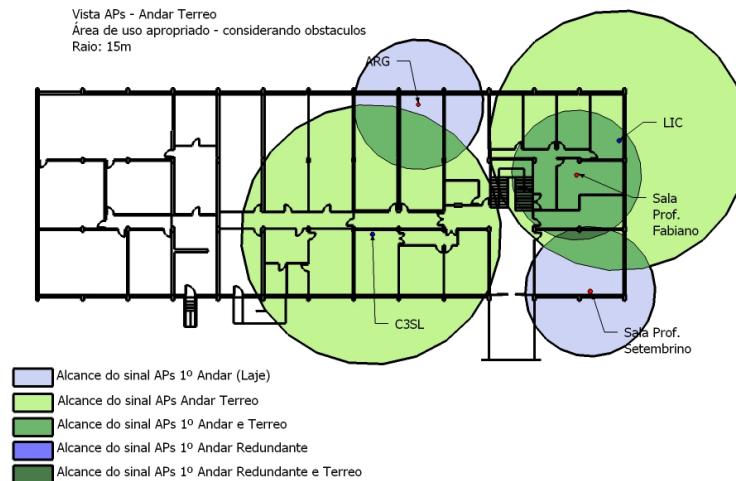


Figura 33: vista do Andar Térreo com descrição dos APs de todo prédio com obstruções

Comentários: A Figura 33 representa a vista do Andar Térreo com os AP's presentes em todo prédio identificados e com sua respectiva área de uso apropriado. Nesse caso está sendo considerado o efeito das obstruções na qualidade do sinal.

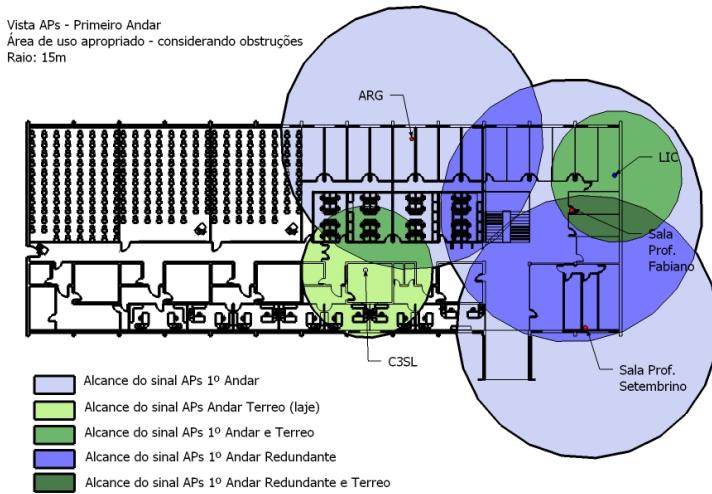


Figura 34: vista do Andar Superior com descrição dos APs de todo prédio com obstruções

Comentários: A Figura 34 representa a vista do Andar Superior com os AP's presentes em todo prédio identificados e com sua respectiva área de uso apropriado. Sendo considerado o efeito das obstruções na qualidade do sinal.

5.2 Análise dos resultados obtidos na implementação do método empírico

Analizando os resultados obtidos na implementação do método empírico (proposto em [8]), conclui-se que a técnica pode ser bastante proveitosa, conforme o próprio artigo cita, em aplicações para localização de impressoras mais próximas a um determinado ponto, por exemplo, ou em localização e rastreamento de usuários que envolvam utilizações não críticas no quesito segurança.

A taxa de exatidão do método seria maior se mais Access Points fossem considerados (redundância), para fins de cálculo da Distância Euclediana e consequentemente na comparação com a base de dados coletados previamente.

Possivelmente, o grau de exatidão também seria maior se o número de amostras coletadas (para a composição da base de informações) fosse maior. Na implementação realizada, devido ao grande número de pontos de coleta de dados, foram feitas apenas 5 coletas em cada ponto, sendo que um número maior de amostras tende a melhorar sensivelmente a precisão dos resultados.

5.3 Trabalhos futuros

Um tópico interessante, que será deixado como sugestão para um possível trabalho futuro, é a implementação da técnica de localização baseada em um modelo de propagação de sinal, proposto no artigo [8].

O modelo de propagação do sinal a rádio discutido no artigo leva em consideração diversas variáveis para sua elaboração, sendo que a mais importante delas é o número de paredes que separam o transmissor de sinal (Access Point) do receptor (terminal móvel). Com base nesse parâmetro, uma equação da distância em função da força de sinal recebido poderá ser deduzida, a qual será bastante útil para os cálculos da posição e rastreamento do terminal móvel, na área em questão.

Outra sugestão de trabalho futuro seria implementar com mais profundidade e detalhamento o método empírico, proposto também no artigo [8]. Uma otimização sugerida, além de outras possíveis, seria interpolar os dados obtidos nos 55 pontos de coletas, para assim criar pontos intermediários, melhorando assim a acuracidade do método de localização.

Por último, tem-se também como sugestão a implementação da técnica proposta em [19] que, devido a algumas limitações principalmente na parte estatística, impediram que a mesma fosse implementada neste trabalho.

6 Conclusões

Este capítulo contém as conclusões referentes ao presente trabalho.

Pelo presente trabalho, conclui-se que as técnicas de localização wireless baseadas em RSS são bastante promissoras em diversas aplicações, não apenas nas relacionadas às Vanet's, como também em redes locais sem fio e em redes de sensores sem fio (WSN's). Por não necessitar de hardware adicional, as técnicas que se utilizam da força de sinal recebida são relativamente baratas e simples de serem implementadas no mundo real.

Entretanto, devido a natureza bastante sensível ao ambiente do RSS, é aconselhável que sejam utilizadas técnicas e algoritmos robustos, objetivando assim compensar as variações indesejáveis dos valores obtidos das medições de força de sinal recebido. Existência de obstáculos comuns como paredes, móveis e até mesmo a circulação de pessoas, além das variáveis normais de ambiente como temperatura e umidade do ar, sem esquecer de citar as interferências de outros sinais, etc, tornam não trivial a tarefa de desenvolvimento de novos e promissores métodos de localização baseados em RSS, além de seu uso em aplicações do dia-a-dia.

Outro fator a considerar é a tendência cada vez maior de utilizar as técnicas baseadas em RSS associadas a tecnologias já largamente empregadas, tais como - notadamente nos dias de hoje - o GPS (o qual, entretanto, não oferece resultados satisfatórios em ambientes fechados). Utilizando em conjunto os mais diversos métodos, cada vez mais os sistemas inteligentes implementados (por exemplo) nas Vanet's apresentarão a confiabilidade e robustez necessários, uma vez que segurança é um fator central nessas redes.

A gradativa criação de padrões e protocolos por organizações como IEEE, SAE e ETSI, para facilitar justamente o desenvolvimento de inovações a serem utilizados nas Vanet's, formará um ambiente propício para implementação das técnicas baseadas em RSS na realidade do trânsito de veículos terrestres.

As Vanet's são uma realidade próxima, que afetará positivamente a vida de

milhões de pessoas. Juntamente com o Sistema Inteligente de Transporte (SIT), trarão mais segurança, economia, comodidade e otimização em diversos níveis, tanto para motoristas quanto para passageiros. Além disso, facilitarão e serão importantes ferramentas de apoio para órgãos fiscalizadores, regulamentadores e de monitoramento de trânsito.

Referências

- [1] Dedicated short range communications(dsrc) home. <http://www.leearmstrong.com/DSRC/DSRCHomeset.htm>. Acesso em 06/2010.
- [2] The sensor network museum. Internet. <http://www.snm.ethz.ch/Projects/SensorNetworkExperimentalData>. Acesso em 05/2010.
- [3] Via fácil. Internet. <http://www.viafacil.com.br>. Acesso em 06/2010.
- [4] Wireless access in vehicular environments. Internet. <http://www.hindawi.com/journals/wcn/2009/576217.html>. Acesso em 05/2010.
- [5] National highway traffic safety administration,report and press release the economic impact of motor vehicle crashes, 2000. <http://www.nhtsa.gov/>. Acesso em 06/2010.
- [6] AKYILDIZ, I., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., AND CAYIRCI, E. Wireless sensor networks: A survey. *Computer Netw.* 38, 4 (2002), 393–422.
- [7] AL-ABRI, D., AND MCNAIR, J. On the interaction between localization and location verification for wireless sensor networks. *Computer Networks* 52 (2008), 2713–2727.
- [8] BAHL, P., AND PADMANABHAN, V. N. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. *IEEE Infocom 2000* (2000).
- [9] BLUM, J., ESKANDARIAN, A., AND HOFFMAN, L. Challenges of intervehicle ad hoc networks. *IEEE Transportation Systems* 5 (2004), 347–351.
- [10] BOUKERCHE, A., AND ET AL. Vehicular ad hoc networks: A new challenge for localization-based systems. *Computer Communications* 31 (2008), 2838–2849.
- [11] CAR-2-CAR. Car-2-car, 2010. <http://www.Car-2-Car.org/>. Acesso em 06/2010.
- [12] COSTA, J. A., PATWARI, N., AND HERO III, A. O. Achieving high-accuracy distributed localization in sensor networks. *IEEE Intl. Conf. Acoustic, Speech, and Signal Processing (ICASSP'05)* (2005), 642–644.
- [13] ETSI. Etsi: European telecommunications standards institute, 2010. <http://www.etsi.org/>. Acesso em 06/2010.
- [14] FRODIGH, M., PARKVALL, S., ROOBOL, C., JOHANSSON, P., AND LARSSON, P. Futuregeneration wireless networks. *IEEE Pers. Commun.* 8, 5 (2001), 10–17.
- [15] FÜSSLER, H., SCHNAUFER, S., TRANSIER, M., AND EFFELSBERG, W. Vehicular ad-hoc networks: From vision to reality and back. *4th Annual IEEE/IFIP Conference on Wireless On Demand Network Systems and Services (WONS)* (2007), 95–97.

- [16] HARTENSTEIN, H., AND LABERTEAUX, K. P. A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine* (2008), 164–171.
- [17] IEEE. Ieee 802.11 - lan/man wireless lans, 2010. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>. Acesso em 06/2010.
- [18] IEEE. Institute of electrical and electronic engineers, 2010. <http://www.ieee.org/>. Acesso em 06/2010.
- [19] KONG, Y., KWON, Y., AND PARK, G. Robust localization over obstructed interferences for inbuilding wireless applications. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 55, 1 (2009), 105–111.
- [20] MAO, G., ANDERSON, B., AND FIDAN, B. Path loss exponent estimation for wireless sensor network localization. *Computer Netw.* 51 (2007), 2467–2483.
- [21] MUÑOZ, J., AND SYRACUSE, N. Providing vanet security through active position detection. *Proc. of the 53. internet engineering task force* (2002).
- [22] NOW. Network on wheels, 2010. <http://www.network-on-wheels.de/>. Acesso em 06/2010.
- [23] PARKER, R., AND VALAEE, S. Vehicular node localization using received-signal-strength indicator. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 56, 6 (2007), 3371–3380.
- [24] PATWARI, N., ASH, J. N., KYPEROUNTAS, S., HERO III, A. O., MOSES, R. L., AND CORREA, N. S. Locating the nodes - cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine* (2005), 54–69.
- [25] PATWARI, N., AND HERO III, A. O. Adaptive neighborhoods for manifold learning-based sensor localization. *IEEE Workshop on Signal Processing Adv. Wireless Commun. (SPAWC'05)* (2005), 1098–1102.
- [26] PATWARI, N., HERO III, A. O., AND COSTA, J. A. Learning sensor location from signal strength and connectivity. *Secure Localization and Time Synchronization for Wireless Sensor and Ad Hoc Networks*, Eds. Radha Poovendran, Cliff Wang, and Sumit Roy, *Advances in Information Security series* 30 (2006).
- [27] PORRETA, M., NEPA, P., MANARA, G., AND GIANNETTI, F. Location, location, location. *IEEE Vehicular Technology Magazine* (2008), 20–29.
- [28] RAPPAPORT, T. S., REED, J. H., AND WOERNER, B. D. Position location using wireless communications on highways of the future. *IEEE Communications Magazine October 1996 97* (1996), 33–41.
- [29] SAE. Society of automotive engineers, 2010. <http://www.sae.org/>. Acesso em 06/2010.
- [30] SAE. Transportation systems, 2010. <http://standards.sae.org/transportation-systems/its/standards/>. Acesso em 06/2010.

- [31] SHANG, Y., RUML, W., ZHANG, Y., AND FROMHERZ, M. P. J. Localization from mere connectivity. *Mobihoc* (2003), 201–212.
- [32] SILVA, R. A. C. Um estudo geral sobre vanets, 2008. <http://www.snm.ethz.ch/Projects/SensorNetworkExperimentalData>. Acesso em 11/2009.
- [33] TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. Campus, 2003.
- [34] TONGUZ, O. K., AND FERRARI, G. Ad hoc wireless networks: A communication-theoretic perspective. *John Wiley and Sons* (2006).
- [35] TOURRILHES, J. Wireless tools for linux, 2010. http://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Tools.html. Acesso em 06/2010.
- [36] VANDERSCHUREN, M. Safety improvements through intelligent transport systems: A south african case study based on microscopic simulation modelling. *Accident Analysis and Prevention* 40, 1 (2008), 807–817.
- [37] YAN, G., OLARIU, S., AND WEIGLE, M. C. Providing vanet security through active position detection. *Computer Communications* 31 (2008), 2883–2897.
- [38] YUN, S., LEE, J., CHUNG, W., AND ET AL. A soft computing approach to localization in wireless sensor networks. *Expert Systems with Applications* 36 (2008).

7 Anexos

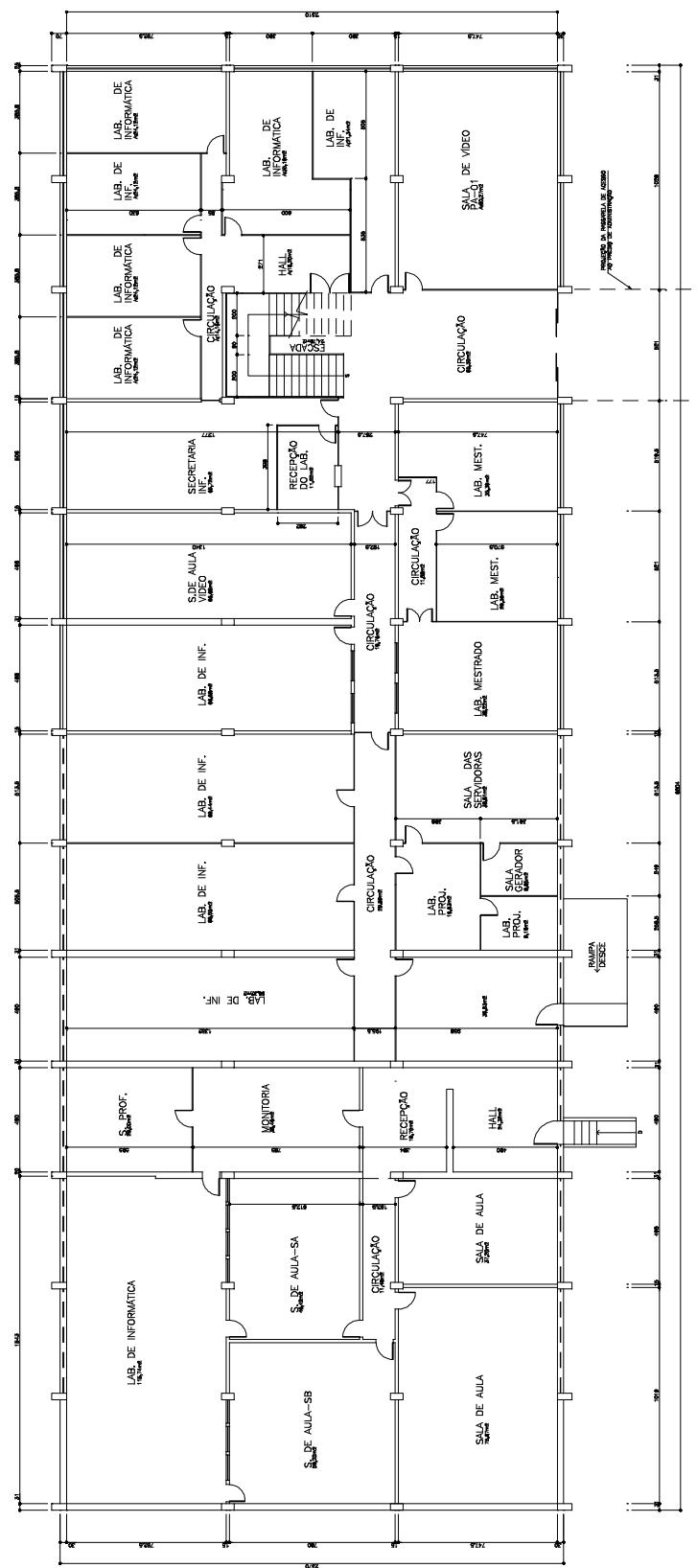


Figura 35: Planta pavimento térreo - Edifício de provas

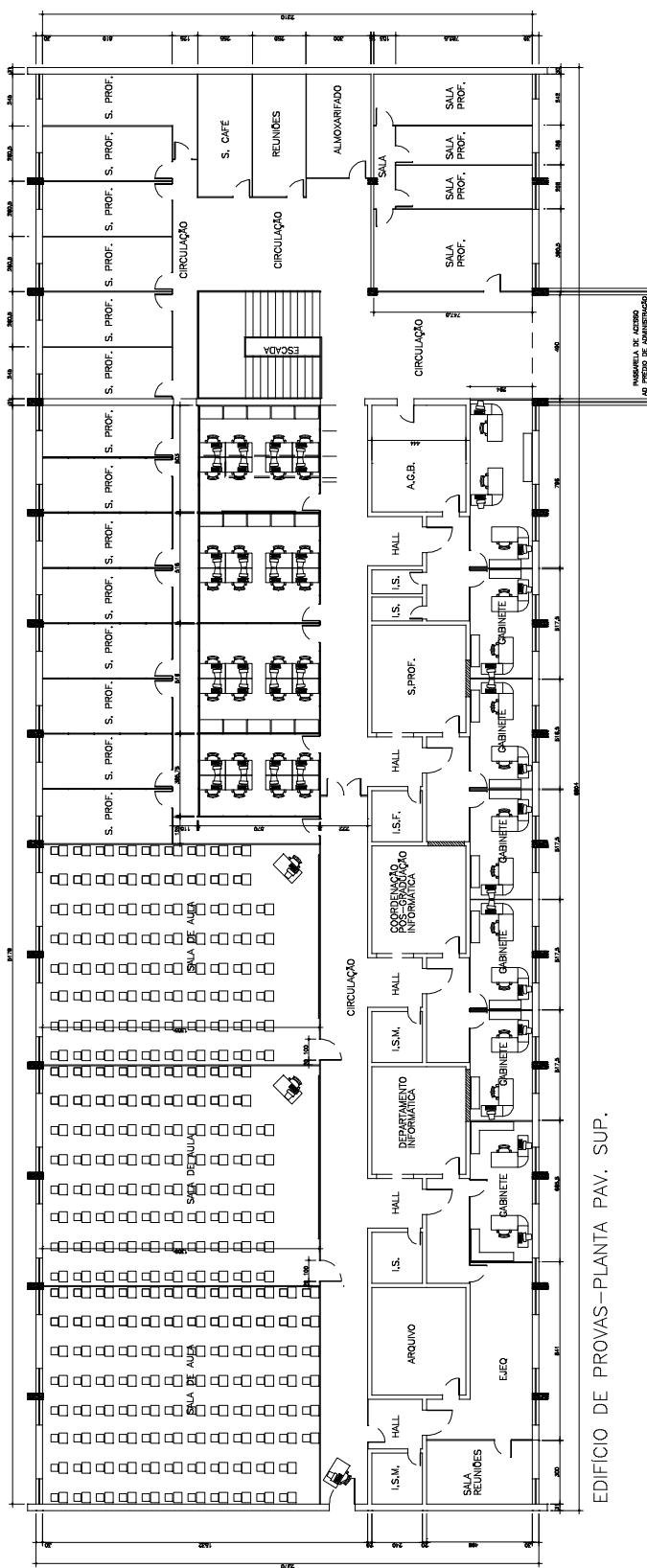


Figura 36: Planta pavimento superior - Edifício de provas