



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

MATHEUS HENRIQUE TRICHEZ

**ANÁLISE DE MOBILIDADE EM REDES *AD HOC* MÓVEIS BASEADA
EM TRAÇOS REAIS E MÉTRICAS DE MOBILIDADE**

**CHAPECÓ
2018**

MATHEUS HENRIQUE TRICHEZ

**ANÁLISE DE MOBILIDADE EM REDES *AD HOC* MÓVEIS BASEADA
EM TRAÇOS REAIS E MÉTRICAS DE MOBILIDADE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Ciência da Computação da
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Spohn

CHAPECÓ

2018

Trichez, Matheus Henrique

Análise de Mobilidade em Redes *ad hoc* móveis baseada em traços reais e métricas de mobilidade / por Matheus Henrique Trichez. – 2018. 35 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Marco Aurélio Spohn
Monografia (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Ciência da Computação, Curso de Ciência da Computação, RS, 2018.

1. Redes *Ad Hoc* móveis, métricas de mobilidade, traços de mobilidade. I. Spohn, Marco Aurélio. II. Título.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Matheus Henrique Trichez. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: mh.trichez@gmail.com

MATHEUS HENRIQUE TRICHEZ

**ANÁLISE DE MOBILIDADE EM REDES *AD HOC* MÓVEIS BASEADA
EM TRAÇOS REAIS E MÉTRICAS DE MOBILIDADE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Spohn

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 02 / 07 / 2018

BANCA EXAMINADORA:



Dr. Marco Aurélio Spohn - UFFS



Dr. Emilio Wuerges - UFFS



Dr. Cláudio Pavan - UFFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro à toda minha família, especialmente meus pais, Lau e Salete pelo suporte e carinho que moveram até aqui. Agradeço também a todos os meus amigos, em especial a Jackson pelos anos de convivência e Lewer pelo companheirismo. Sou grato também Ao Prof. Marco Aurélio Spohn pelo ano e meio de orientação, e à essa instituição pública e popular que é a UFFS; principalmente aos movimentos sociais responsáveis pela luta de trazer a UFFS à mesorregião da Fronteira Sul.

“Para mim, é muito melhor compreender o universo como ele realmente é do que persistir no engano, por mais satisfatório e tranquilizador que possa parecer. ”

— CARL SAGAN

RESUMO

Traços sintéticos gerados por Modelos de Mobilidade foram extensivamente utilizados na avaliação de métricas e protocolos dentro do contexto de redes *ad hoc* móveis ao longo do tempo. O presente trabalho se propôs analisar um conjunto traços reais de mobilidade por meio de métricas que se dividem em cinco aspectos: tempo, espaço, grafo, distância e velocidade. A análise compreende uma tentativa de extrair informações destes dados sob uma perspectiva de rede *ad hoc* móvel, e também identificar os modelos de mobilidade cujos traços apresentam comportamentos semelhantes aos traços reais estudados. Por fim são levantadas algumas questões acerca de se trabalhar com traços reais neste escopo.

Palavras-chave: Redes *Ad Hoc* móveis, métricas de mobilidade, traços de mobilidade.

ABSTRACT

Synthetic mobility traces generated by Mobility Models were extensively used for metrics and protocols evaluation within MANTEs field over the years. The present work aims to analyze a real mobility traces data set through mobility metrics whose are divided in five perspectives: time, space, graph, distance and velocity. The analyzis assembles an attempt of gathering information from the data set in the MANTEs panorama, and also, identify wich mobility models have a similar behavior in comparison of those who were studied. At the end, some questions are raised up about working on this field with real data.

Keywords: MANET, Mobility Metrics, Mobility traces.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Estrutura abstrata básica do framework	20
Figura 4.2 – Árvore de Decisão	22
Figura 5.1 – Área de Roma considerada na avaliação	24
Figura 6.1 – Resultados da primeira semana dos traços de Roma	26
Figura 6.2 – Resultados da segunda semana dos traços de Roma	27
Figura 6.3 – Resultados da terceira semana dos traços de Roma	27
Figura 6.4 – Resultados da quarta semana dos traços de Roma	28
Figura 6.5 – Deslocamento médio do Percurso sobre os traços de Roma nas quatro semanas	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específicos	13
2.3 Justificativa	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Métricas de Mobilidade	14
3.1.1 Métricas baseadas em Distância	14
3.1.2 Métricas Temporais.....	14
3.1.3 Métricas baseadas em Velocidade	14
3.1.4 Métricas Espaciais.....	15
3.1.5 Métricas baseadas em grafo	15
3.2 Modelos de Mobilidade	16
3.3 Trabalhos relacionados	18
4 METODOLOGIA	20
4.1 Do Framework	20
4.1.1 ENTRADA	20
4.1.2 PROCESSOS INTERNOS	21
4.1.3 SAÍDA.....	21
5 DESENVOLVIMENTO	23
6 RESULTADOS	25
6.1 DAS MÉTRICAS	25
6.2 DOS MODELOS DE MOBILIDADE	28
7 CONCLUSÃO	31
7.0.1 Trabalhos futuros	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Uma rede *ad hoc* móvel pode ser vista como um conjunto de nós que, através do seu movimento e alcance de transmissão, configuram uma rede altamente móvel e de topologia extremamente dinâmica. Onde cada nó atua como cliente/servidor e roteador, independentemente de gestores centralizados para controle da rede. Proposta nos anos 90, as redes *ad hoc* móveis surgiram com propósito de serem *pura* e de *propósito geral* [15]. Onde *pura* diz respeito sobre a ausência de infraestrutura para apoiar o seu funcionamento, assim, dependendo apenas do equipamento dos seus participantes e não de aparatos físicos presos ao chão, tais como antenas ou roteadores fixos. Sobre *propósito geral*, entende-se que esse tipo de rede não deveria ser projetada visando uma aplicação em específico, mas sim para suportar o legado de aplicações baseadas em TCP/IP já conhecidas da internet.

Ainda segundo [15], a pesquisa sobre redes *ad hoc* móveis apesar de produzir resultados significativos acerca de do tema, a maior parte desta se limita ao conhecimento teórico. O que em [14] é dito como consequência da falta de realismo e precisão. Demonstrando que o princípio de *propósito geral* falha em representar satisfatoriamente cenários de aplicação real. Ante a esse contexto surgiram propostas alternativas ao clássico paradigma de rede *pura* e de *propósito geral*. Emergindo como sub-produtos do conceito original, estas são focadas e visam, cada uma delas, uma aplicação das redes *ad hoc* móveis. Como é o caso das Redes Veiculares, o qual é tema base deste trabalho.

Tomando os dados capturados através de GPS (*i.e.* Sistema de Posicionamento Global) —, que consistem, basicamente, em quádruplas escritas linha a linha compostas por: coordenadas geográficas (latitude e longitude) junto a um identificador de cada veículo e um instante de tempo. É considerado para cada veículo/nó, um rastro (ou, traço de mobilidade), através do caminho formado pela sequência dessa coordenadas registradas para cada veículo/nó. O mesmo pode ser simulado através do que é chamado de Modelo de Mobilidade, que, a partir de um conjunto de parâmetros de entrada, gera um arquivo de traços de mobilidade que pode ser representado pela mesma quádrupla dos traços capturados via GPS. A partir destes, podem ser calculados diversas métricas para depurar informações sobre a mobilidade e co-relação dos nós participantes da rede. Métricas estas que medem quantitativamente a expressão dos participantes da rede, podem olhar sob cinco diferentes perspectivas, que são: Distância, Grafo, Tempo, Espaço e Velocidade. Porém, apesar de os traços pertencerem a bases relativamente

extensas e as métricas cobrirem vários ângulos do o objeto de estudo, os resultados obtidos e conclusões extraídas podem um tanto restritas, além de não generalizáveis. Isso pode ser decorrência das limitações dos dados coletados — tanto por granularidade de informações, quanto possíveis equívocos de medição e limitações da representação computacional das informações —, assim como por consequência das métricas terem sido projetadas e avaliadas sobre traços de mobilidade sintéticos gerados por Modelos de Mobilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a mobilidade de redes *ad hoc* móveis a partir do estudo de traços reais;

2.2 Específicos

- Identificar um conjunto de métricas que melhor caracterizam esses traços;
- Usar das métricas para extrapolar informações sobre a mobilidade;
- Encontrar, dentre os conhecidos na literatura, o modelo de mobilidade que melhor representa esses traços;

2.3 Justificativa

Uma das noções mais importantes consequentes da epistemologia, é o poder medir e subjetivar em vários sentidos, e, sobre diferentes e relevantes parâmetros e perspectivas, as informações dentro de um certo contexto. Dada a natureza abstrata da Ciência da Computação, estas considerações são de uma ânsia ainda maior. Nas redes *ad hoc* móveis essa noção é de extrema importância para discutirmos sobre a valia, por exemplo, de uma modelagem matemática que representa ou avalia os comportamentos dos nós participantes de uma rede. No entanto, tais modelagens nem sempre são testadas à exaustão, ou validadas em comparação a informações reais coletadas de indivíduos. Assim, a fim de pisar em terreno mais firme, o presente trabalho será realizado com dados reais de mobilidade coletados via GPS.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Métricas de Mobilidade

Um rede *ad hoc* móvel pode ser vista como uma coleção de nós que se movem na maior parte do tempo, podendo se relacionar e interagir entre si, configurando a cada instante de tempo uma rede com uma topologia totalmente diferente. Essa transfiguração que é a essência das redes *ad hoc* móveis, pode ser explorada através de métricas em cinco diferentes aspectos: Distância, Espacial, Velocidade, Temporal e baseadas em Grafos. Segundo [10], as seguintes premissas precisam ser levadas em conta para o cálculo das métricas que seguem:

- A comunicação entre os nós e sempre bidirecional;
- O alcance de transmissão R e sempre constante e igual para todos os nós;
- A quantidade de nos no início da simulação permanece inalterável durante a simulação;
- O cenário e bidimensional, com geometria retangular.

3.1.1 Métricas baseadas em Distância

- **DeP**

O Deslocamento médio de Percurso mede o comprimento do deslocamento do percurso entre dois pontos de parada (*waypoints*) de um usuário na rede.[11]

3.1.2 Métricas Temporais

- **GDTA**

O Grau de Dependência Temporal Aprimorada mede a suavidade da mudança de velocidade no sentido de determinar a aleatoriedade dessa mudança. Assim, quanto mais brusca a mudança, mais aleatório se mostra a rede. [12]

3.1.3 Métricas baseadas em Velocidade

- **CVA e CVV**

O Coeficiente de Variação tanto para Ângulo quanto Velocidade é dado pela média do desvio padrão de todos os nós, sobre a média velocidade de todos os nós. O que mostra a variabilidade dessas duas grandezas. [11]

- **TVA**

Proposta com o intuito de diferenciar os traços entre sintéticos dos traços realísticos, a Taxa de variação de Velocidade-Ângulo diz, em média, quantas vezes a velocidade de um nó da rede sofre alguma alteração de velocidade em relação às mudanças de ângulo. [11]

3.1.4 Métricas Espaciais

- **GPN**

Variando no intervalo de -1 a 1, o Grau de Proximidade entre Nós é calculado com base na distância média entre os Nós ao longo do tempo. Onde -1 é a maior distância média possível entre dois Nós conectados. [9]

- **GAE**

O Grau de Acessibilidade Espacial considera o espaço do cenário como uma matriz de $N \times N$ células, onde N é o número de nós na rede. E responde à proporção de células visitadas em relação ao número total de células, durante o tempo de vida da rede.[11]

- **GDER**

Também fazendo uso da matriz de células como a métrica anterior, o Grau de Distribuição Espacial da Rede visa medir o grau de não-uniformidade da distribuição espacial dos nós no cenário. [11]

- **GDEA**

O Grau de Dependência Espacial Aprimorado propõe-se medir a dependência entre os nós durante no período de vida da rede, ou seja, é esperado um valor mais alto nessa métrica quando os nós avaliados andam juntos. [12]

3.1.5 Métricas baseadas em grafo

- **GME**

O Grau de Mudança de Enlaces identifica cada mudança de estado enlace, ou seja, contabiliza quantas vezes uma conexão os nós foi criada ou desfeita. [11]

3.2 Modelos de Mobilidade

Os Modelos de Mobilidade são, em suma, modelagens matemáticas pensadas para simular redes *ad hoc* móveis. Tomando alguns parâmetros como, por exemplo, velocidades mínima e máxima dos nós, tempo de pausa, tempo de vida da rede e dimensões da área de simulação, um Modelo de Mobilidade tem como saída uma coleção de coordenadas para cada nó que faz parte àquela rede, formando assim um rastro do espaço percorrido por cada nó.

Mencionado pela primeira vez em [25] o Modelo Random Waypoint surgiu a partir da necessidade de testar e validar o protocolo Dynamic Sources Route para redes *ad hoc* proposto por Johnson *et al.* Um protocolo com a proposta de se adaptar rapidamente às mudanças de nó transmissor de origem. Nesse trabalho o RWP ainda não era chamado de ‘Modelo Random Waypoint’, mas era parte da etapa de simulação implementada pelos autores do protocolo para validação do mesmo. O conceito de ‘modelo’ aparece tempo depois em outro trabalho [8], onde foi usado para simular cenários a fim de comparar uma série de protocolos para redes *ad hoc*. Ainda nesse primeiro trabalho a abordagem de simulação que viria a se tornar o RWP foi descrito da forma que segue sob tradução livre.

“A área a qual cada um dos nós se movem é um quadrado, 9 metros cada lado. Cada nó é inicialmente colocado em uma posição aleatória dentro da área de simulação. Conforme a simulação avança, cada nó permanece na sua posição por um tempo, o qual chamamos de *tempo de pausa*, e a aleatoriedade escolhe uma nova localização para se mover e uma velocidade entre 0.3 e 0.7 metros por segundo na qual ele vai se mover.” [25]

Para Johnson *et al.* a ideia era com isso simular uma rede *ad hoc*, ou seja, alguns nós independentes se movendo em uma sala de tamanho médio. Usando essa modelagem, acreditavam representar os nós vagando pela sala onde o tempo de pausa constante determinaria inquietação do nó [25].

Por ser o primeiro modelo de mobilidade pensado com o propósito de simular uma rede *ad hoc* e também por ser de simples implementação, o RWP é um modelo legado que se encontra na maioria dos simuladores e outros softwares relacionados ao estudo e simulação destas redes. O que explica o fenômeno do mesmo aparecer na literatura com maior frequência do que qualquer outro modelo de mobilidade. E por consequência de ser o mais utilizado em trabalhos de simulações e validação de novos protocolos, essa atenção atraiu estudos sobre eficácia que

tem esse modelo ao tentar representar uma rede *ad hoc*. Na literatura [15, 21, 20], quando se fala sobre a representatividade de um modelo de mobilidade, um dos critérios que ganha mais atenção é a sua capacidade de representar e levar em conta a mobilidade humana. Dada as limitações tecnológicas da época e levando em conta que o RWP surgiu embutido como parte de uma ferramenta de simulação, esse modelo foi utilizado por um tempo sem algum tipo de validação ou estudo sobre seu *modus operandi*. Anos depois alguns possíveis problemas foram descobertos, [39] perceberam que a distribuição da velocidade média ao longo do tempo apresentava uma característica não-uniforme. Fazendo decair a velocidade média durante o trajeto dos nós, afetando diretamente a avaliação de protocolos via simulação usando o RWP. Outra questão levantada foi sobre a distribuição nodal em relação ao espaço, [5] descobriram que a distribuição espacial dos nós não seguiam uma distribuição uniforme, ou seja, os nós se concentravam no centro da área de simulação nos primeiros instantes, o que pode não ser o objetivo quando se simula uma rede para testar e validar um protocolo. Visto as limitações do primeiro modelo em representar a realidade, muitos outros surgiram e foram propostos para sanar essas dificuldades. Alguns como derivados deste, outros sob novas perspectiva são exemplificados a seguir.

Poucos anos depois do RWP, [27] apresentam para redes de telefones móveis uma abordagem diferente. Esse modelo de mobilidade foi adotado nas redes *ad hoc* móveis e se chama Gauss-Markov. O Gauss-Markov tem um movimento aleatório dos nós assim como o RWP, e tem como diferencial que a sua velocidade em um determinado instante, é derivada a partir da sua velocidade nos instantes anteriores a esse. Buscando assim, eliminar grandes mudanças repentinas de velocidade ou direção. Outro modelo que surgiu na mesma época foi o RPGM (*i.e. Reference Point Mobility Group*), o qual organiza os participantes da rede em grupos os quais tem seu movimento derivado de um ponto de referência, seja esse um dos nós do grupo ou um ponto físico, onde o movimento do nó líder é baseado no modelo Random Waypoint [22]. Outro paradigma baseado para se pensar um modelo novo, são os modelos com restrições geográficas. Tais modelos usualmente utilizam de grafos para representar o espaço de tráfego dos nós participantes da rede. Um modelo recorrente na literatura que segue esse paradigma é o Manhattan mobility model, o qual faz uso de uma grade de linhas e colunas, representando as ruas e quadras de uma cidade.

3.3 Trabalhos relacionados

Uma vez que a validação através de traços reais não é uma prática utilizada na maior parte dos Modelos de Mobilidade [21], é de se esperar que apenas poucos trabalhos sobre protocolos e afins utilizem de traços reais também. Um exemplo é [1], que sobre uma base de traços reais capturados do GPS de 370 táxis durante seis meses em uma área de 8x8 quilômetros da cidade de Roma - ITA, fizeram um estudo destes traços em contraponto ao Modelo Random Waypoint, no intuito de validar um protocolo de propagação para VANETs. Segundo os autores, foi analisado um recorte de 30 dias destes seis meses dessa base, onde foram escolhidos aleatoriamente quatro horários entre as 00:00 e as 18:00 horas para fazer a simulação. Computados os traços reais, foi identificada uma velocidade média dos táxis de 12.29 Km/h e um tempo de pausa médio de 600s. Ainda, foi identificado que variando o alcance dos nós de 50 a 250 metros, quando simulado sob o modelo RWP, o protocolo apresentou uma propagação relativamente mais rápida em relação ao tempo do que o desempenho do mesmos simulado sob os traços reais.

Outro trabalho envolvendo traços reais de mobilidade, foi na validação do Modelo de Mobilidade para redes particionadas com agrupamento, proposto por [31]. O qual usou de uma base de dados de traços reais contendo as coordenadas de aproximadamente 500 táxis sobre um período de 30 dias, capturados na bahia da cidade de San Francisco - EUA, equivalente a 15x25 quilômetros. Assim como no trabalho anterior, foi simulada uma rede análoga aos traços reais através do modelo Random Waypoint e também do modelo Random Walk, os quais tiveram seus parâmetros derivados de métricas calculadas dos traços reais. Realizadas 300 simulações para cada Modelo de Mobilidade e 10 simulações para cada período de 30 dias dos traços reais, os resultados foram analisados sob as métricas: i) *Atraso da mensagem*, ii) *Número de cópias da mensagem* e iii) *Caminho de menor atraso*. Segundo os autores, na primeira métrica o RWP se aproximou muito dos traços reais, porém fica um pouco a baixo, assim como na terceira. Na segunda métrica todos os três casos (traços reais, random walk e random waypoint) conseguiram prever bem o número de cópias.

Uma proposta de arquitetura de roteamento multi camadas para grandes áreas também foi apresentada e avaliada com traços reais de mobilidade por [24]. Visando um propósito aplicado, essa arquitetura já não é mais um rede *ad hoc* móvel pura, também tendo em vista que conta com infraestrutura fixadas em pontos estratégicos. Para a validação foram usados seis

recortes de 15 minutos da captura dos traços dos ônibus de transporte coletivo de terça-feira dia 21 de novembro de 2001 das 07:00 as 08:00 e 17:00 até 18:00 do dia seguinte, da cidade de Seattle - EUA, o que envolveu de 750 a 850 ônibus.

4 METODOLOGIA

Inicialmente, foi selecionada a base de dados com melhor granularidade (*i.e.* melhor discretização dos registros sobre o tempo e volume de registros) dentre as já citadas no capítulo anterior, a base de dados disponibilizada por [7]. Após definida a base de dados, por conta de se tratar de um arquivo que condensava todos os registros, a mesma foi particionada em arquivos menores para ser computada pelo *framework* [36]. Processo este que é melhor explicado no capítulo sobre o de Desenvolvimento. A versão do *framework* utilizada neste trabalho, os *scripts* utilizados no pré processamento da base de dados, e a base de dados já convertida para o formato NS2 [28], podem ser encontrados em [37] e [38], respectivamente.

4.1 Do Framework

O framework pode ser visualizado como um processo modularizado de entrada e saída. Onde entram, ou, um arquivo com referências para um ou mais arquivos de traços, ou, parâmetros sobre uma rede *ad hoc* de acordo com algum modelo de mobilidade. As principais etapas do funcionamento do framework podem ser visualizadas de maneira abstrata na figura 4.1.

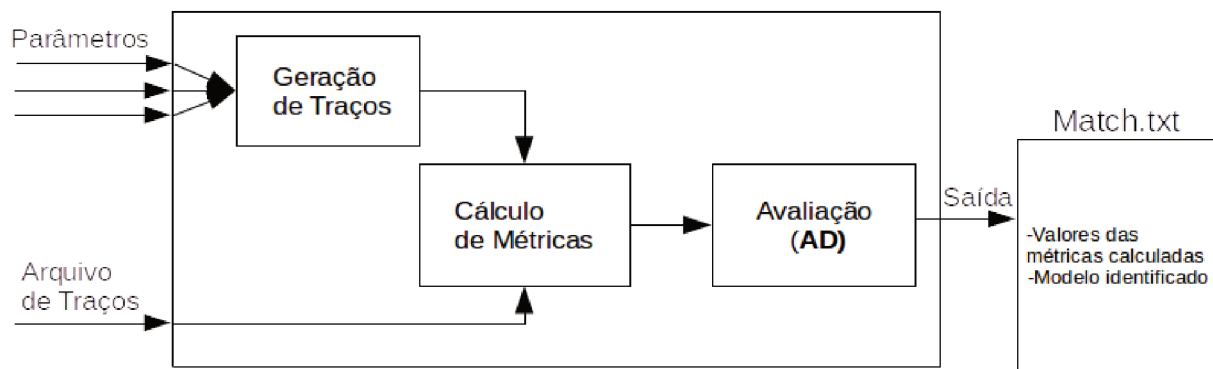


Figura 4.1 – Estrutura abstrata básica do framework

4.1.1 ENTRADA

O framework admite dois formatos de entrada. Através da flag **-f** são esperados parâmetros para a geração de um ou mais arquivos de traços de mobilidade de acordo com a sintaxe descrita na documentação do BonnMotionn 3.0.1 (com exceção do nome do arquivo a ser gerado), justamente por conta dos arquivos serem gerados internamente pelo mesmo. Outro

formato de entrada se dá pela flag **-bf**, que espera como parâmetro um arquivo de sufixo *.txt* o qual contém o número de arquivos de traços de mobilidade a serem avaliados e os nomes dos dos mesmos, que devem se encontrar no mesmo repositório.

4.1.2 PROCESSOS INTERNOS

Caso executado com a flag **-f**, são injetados os parâmetros de entrada em uma execução do BonnMotion por um processo filho para gerar o(s) arquivo(s) de traços. Em posse dos arquivos de traços, seja via **-f** ou **-bf**, os arquivos de traços são lidos um a um e a partir deles calculados as métricas de mobilidade. As métricas de mobilidade utilizadas na Árvore de decisão (AD) para a classificação dos traços são: Deslocamento médio de Percurso, Coeficiente de Variação de Velocidade, Taxa de Variação de Ângulo, Coeficiente de Variação de Ângulo, Grau de dependência Espacial Aprimorado, Grau de dependência Temporal Aprimorado, Grau de Distribuição Espacial da Rede, Grau de Proximidade de Nós, as quais são implementações legadas do Trace Analyzer 2.1. São usadas também: Grau de Acessibilidade Espacial e Grau de Mudança de Enlace que, apesar terem sido propostas junto à AD [11] com as métricas já presentes no Trace Analyzer 2.1, estas foram implementadas durante a construção deste framework. As informações finais sobre a análise, tais como os valores das métricas, nome do arquivo gerado e o modelo de mobilidade apontado pelo framework para esse arquivo de traços, estarão no arquivo de saída chamado *match.txt*.

4.1.3 SAÍDA

Calculadas as métricas, é construída a Árvore de Decisão (AD, Figura 4.2) a partir das configurações lidas no arquivo *treeconf.dat*. Com a árvore construída e as métricas calculadas, o valor de cada métrica é comparado com o seu correspondente nó na AD até chegar em um nó folha. Assim, o arquivo de traços em questão é identificado como representante do modelo de mobilidade ao qual o nó folha encontrado representa. Este resultado é encontrado no arquivo *match.txt* juntamente com o valor calculado de cada métrica usada na identificação para o arquivo de traços em questão.

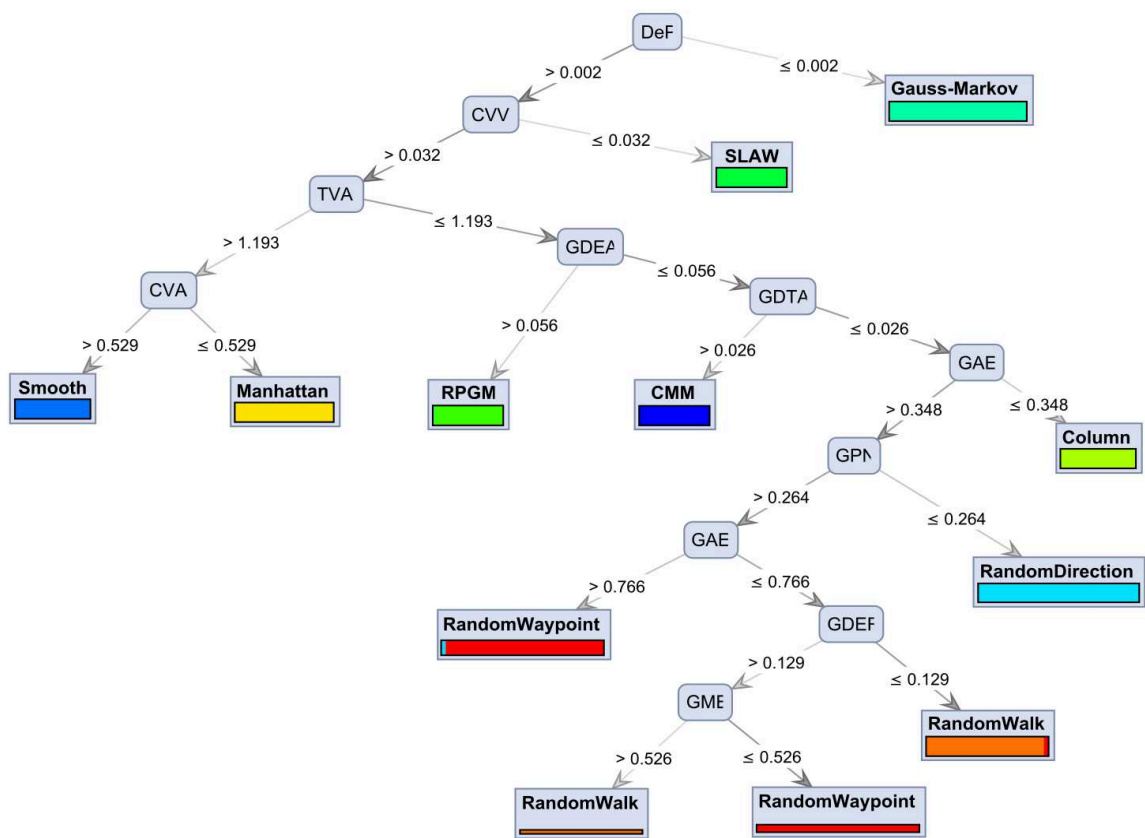


Figura 4.2 – Árvore de Decisão

5 DESENVOLVIMENTO

Foram consideradas várias bases de dados para a análise, porém apenas uma apresentou uma boa granularidade de informações. Levando em consideração a discretização das amostras do GPS sobre o tempo (*i.e.* a frequência em que são obtidas as atualizações das posições dos nós pelo GPS), foram descartadas da possibilidade de análise as bases [30], [18] e [24]. Todas as três carecem na frequência em que são obtidas as posições pelo GPS. A primeira apresenta registros a cada aproximadamente 60 segundos, a segunda e a terceira apresentam intervalos variados, porém, em geral, ainda mais esparsos. Uma característica que apesar de tolerável para trabalhos com propósitos como validação de protocolos ou validação de modelos de mobilidade, pode influenciar negativamente a análise de mobilidade de redes *ad hoc*. Um exemplo do impacto direto dessa particularidade é que muitas das métricas utilizam Distância Euclidiana, e esta pode levar a resultados muito discrepantes dependendo do quão esparsos são os pontos medidos pelo GPS (usados para representar o trajeto de um nó). Levando isso em consideração, a base de traços escolhida para o estudo foi a de Roma [7], a qual teve, segundo os autores, atualizações das posições dos táxis a cada sete segundos. Apesar de trazer um considerável volume de registros de GPS (cerca de vinte e um milhões), uma pequena quantidade acabou sendo descartada. Devido a uma filtragem sobre: i) eventuais erros de captura do GPS, ii) dias selecionados que contemplam os 28 dias de fevereiro de 2014, e iii) pelo recorte feito sobre a região de Roma no intuito de delimitar área a ser estudada. Área esta que representa o cenário utilizado para a computação das métricas, é a área expressa pelo retângulo cujos limites são dados pelas coordenadas **41.7908, 12.3538** e **42.0062, 12.6216**, representadas pelos marcadores vermelho e verde, respectivamente (Figura 5.1). Assim cada ponto (*i.e.* captura do GPS) pertencente a essa área, foi convertido em um ponto no cenário 2D utilizando uma biblioteca que implementa a projeção *Universal Transversa de Mercator (UTM)*[6]. O que é possível devido o fato que o recorte aqui utilizado se encontra contido em uma zona da UTM, gerando assim um cenário de aproximadamente 23 X 23 quilômetros.

Uma vez selecionados, os dados foram pré-processados de maneira a deixá-los convenientes de serem computados pelo *framework*. Primeiro, a base que antes integrava todos os registros em um só arquivo, foi particionada em horas. As quais eram separadas em diretórios, onde cada um dos diretórios representava um dia do respectivo mês em que os registros foram capturados. Cada diretório armazenava vinte e quatro arquivos de registros que foram con-

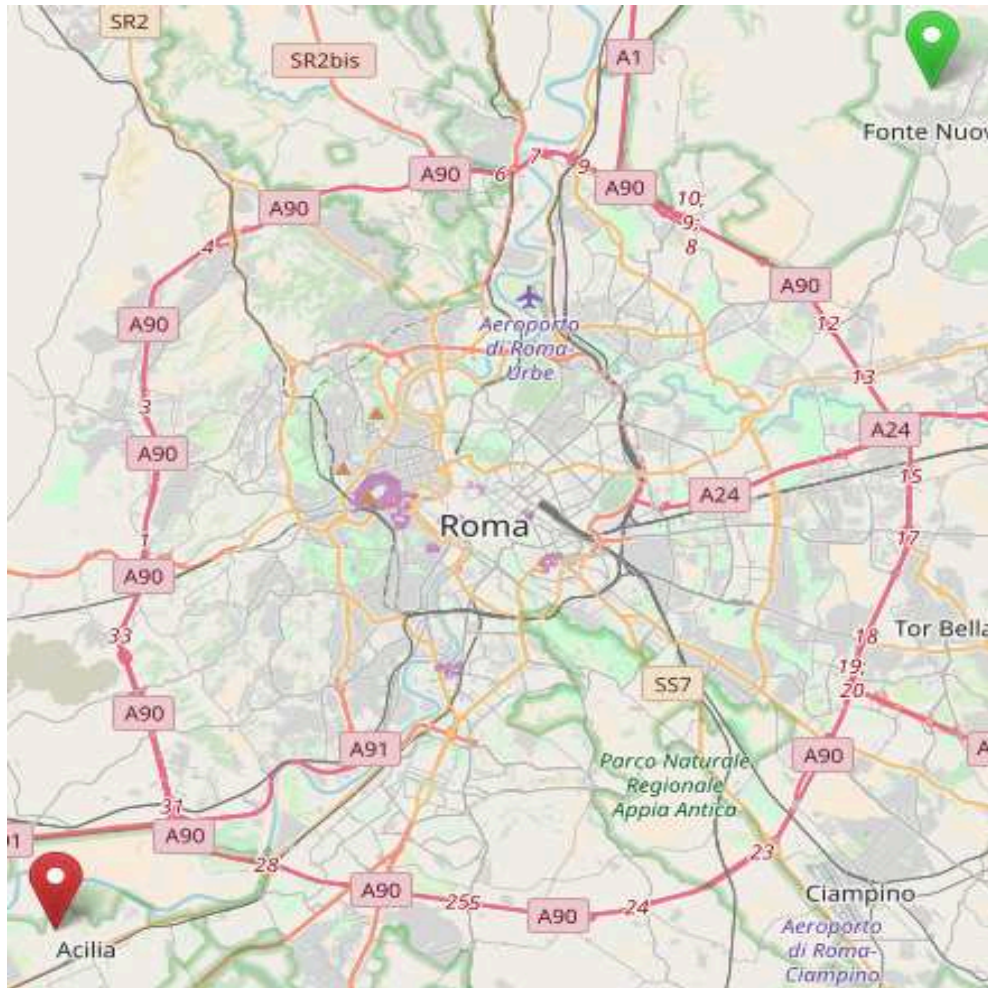


Figura 5.1 – Área de Roma considerada na avaliação

vertidos em traços de mobilidade do formato NS2 [28] — um para cada hora do determinado dia. Arquivos estes que foram computados separadamente pelo *framework*, cada um como uma rede com tempo de vida de uma hora (3600 segundos). Entretanto, outras duas informações precisavam ser obtidas para cada arquivo de hora para poderem ser computados: i) o número de nós para aquela hora (*i.e.* número de táxis operantes durante aqueles 3600 segundos) e ii) o Tempo médio de Pausa dos táxis durante cada hora, estipulado através de quantos segundos, em média, cada táxi permanecia parado (decorrente de situações como sinalizações de trânsito ou problemas no tráfego, por exemplo). Com as informações prévias computadas e os registros devidamente segmentados, foi realizada a conversão de cada arquivo de registros para o formato NS2. Computando-se em tempo de execução a velocidade de cada nó através das suas coordenadas utilizando a fórmula de Haversine [17] e, cada coordenada GPS convertida em um ponto no cenário 2D seguindo a UTM.

6 RESULTADOS

6.1 DAS MÉTRICAS

Devido à dispersão dos resultados, foi encontrado um subconjunto das métricas previamente apresentadas que melhor caracterizam/informam sobre os dados de mobilidade da base de Roma. Dessa maneira, por apresentar uma variância aceitável (como pode ser observados nos gráficos 6.1 a 6.4), o subconjunto de métricas escolhidos foi:

- Coeficiente de Variação do Ângulo (CVA)
- Grau de Mudança de Enlaces (GME)
- Grau de Acessibilidade Espacial (GAE)
- Grau de Proximidade entre Nós (GPN)
- Grau de Dependência Temporal Aprimorado (GDTA)
- Grau de Distribuição Espacial da Rede (GDER)

Embora sejam métricas relativamente simples e talvez limitadas uma vez levado em conta que foram pensadas em um contexto de dados sintéticos, ainda assim pode-se obter informações através destas métricas quando aplicadas sobre dados reais de mobilidade. Com um CVA relativamente baixo que quase nunca alcança 0,8, entende-se que não existe grande variabilidade na mudança de Ângulo. Ou seja, a frequência em que ocorrem as trocas de direção (*i.e.* virar em uma esquina ou até curvas na própria estrada) sobre os táxis estudados, é baixa. Assim sendo, tudo indica que os trajetos percorridos tendem a ser similares. O GME foi a métrica com mais estabilidade dentre as computadas. Sua invariância e o fato de que seus valores estão muito próximos de 1.0 apontam para uma rede em que os enlaces seriam feitos e desfeitos muito frequentemente. O que resulta em um baixo tempo de duração dos enlaces, e números médios de mudanças de enlaces ao longo do tempo, não muito equidistantes. Levando em conta que o raio de alcance dos nós considerado para a computação das métricas foi de 500 metros e, aliado aos altos valores obtidos da métrica GPN, fica visível que a alta proximidade entre os nós tenha feito o número de enlaces estabelecidos ser muito similar ao de enlaces desfeitos. Assim sendo, embora a considerável quantidade de enlaces desfeitos na rede, a proximidade dos nós tende a manter um certo grau de conexão e um número de enlaces ativos. Proximidade essa que

é reafirmada quando olhamos para os baixos valores obtidos da métrica GAE, o que evidencia o fato de que os nós não visitam grande parte do cenário, acabando por resultar em possíveis concentrações dos táxis em determinadas regiões. Concentrações estas que podem ser causadas principalmente por restrições geográficas, mas também por conta de uma possível similaridade dos trajetos feitos ou frequentes destinos comuns entre os táxis, tais como: aeroportos, estações de trem e pontos turísticos. Porém, olhando para a métrica GDTA vê-se com mais clareza que, apesar do alto grau de proximidade entre os nós, isso nem sempre ocorre por conta dos trajetos serem muito similares, uma vez que valores baixos nessa métrica são interpretados como consequência de movimentos não temporais (*i.e.* aleatórios) entre os táxis. E por fim, a GDER confirma essa concentração quando olhamos para seus resultados que sugerem uma distribuição muito precária dos nós pela rede, demonstrada pela não-uniformidade da distribuição dos táxis pelo cenário.

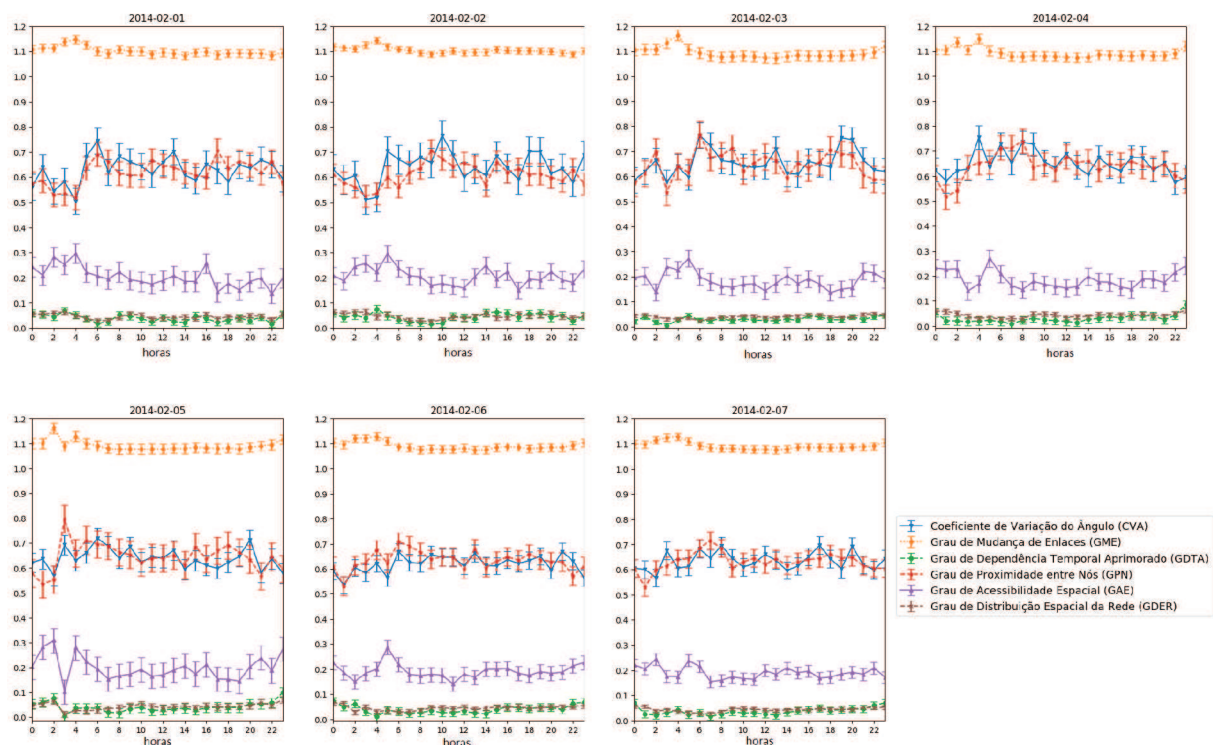


Figura 6.1 – Resultados da primeira semana dos traços de Roma

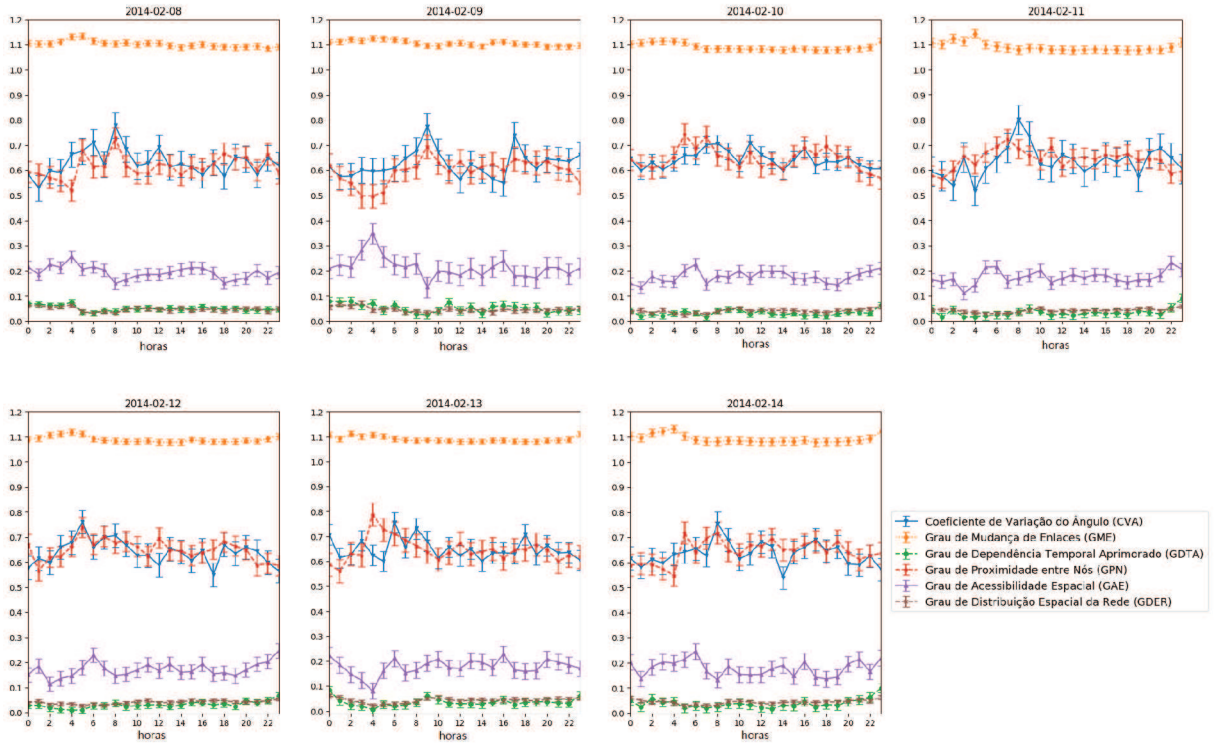


Figura 6.2 – Resultados da segunda semana dos traços de Roma

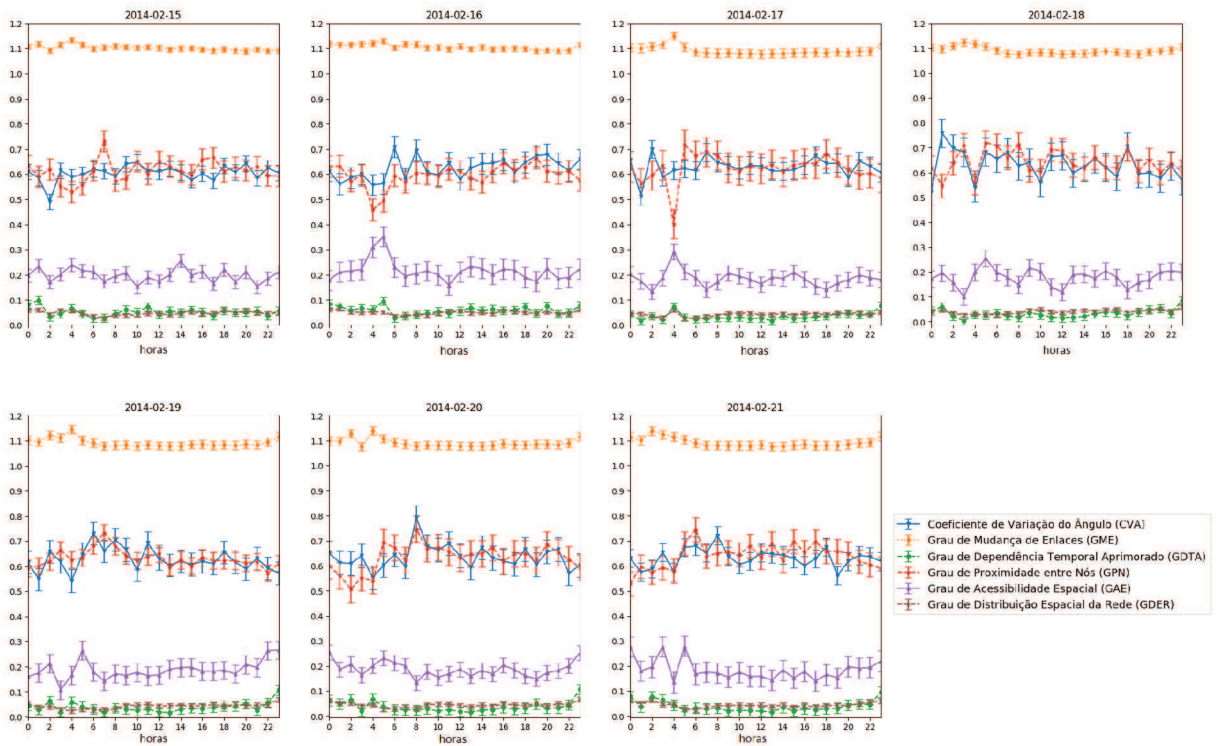


Figura 6.3 – Resultados da terceira semana dos traços de Roma

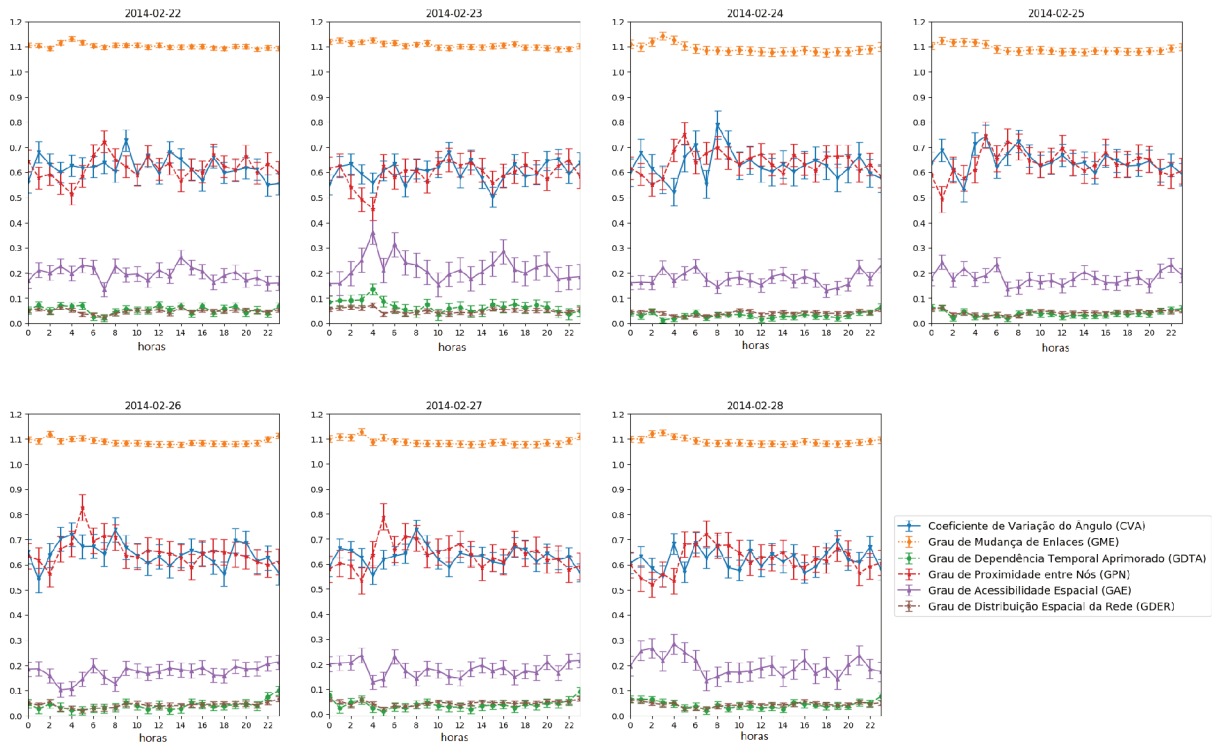


Figura 6.4 – Resultados da quarta semana dos traços de Roma

Ainda que não apresente uma variância suave como as outras métricas, a DeP foi valiosa para a avaliação da base de traços de Roma. Sobrepondo em um mesmo gráfico (Figura 6.5) os resultados hora a hora divididos em quatro semanas, é possível observar padrões no comprimento dos deslocamento médio dos percursos. O que nos mostra que os táxis costumam percorrer uma certa distância comuns em determinados períodos, que, apesar de não serem exatamente as mesmas distâncias médias, ficam visíveis os horários de crescimento e decréscimo do comprimento dos trajetos. Assim demonstrando um padrão de comportamento nas distâncias percorridas pelos usuários ao longo da semana.

6.2 DOS MODELOS DE MOBILIDADE

Ao longo dos anos foram propostos dezenas de modelos de mobilidade no intuito de representar traços reais de mobilidade. Desde os mais simples, com movimentos estritamente artificiais, até os mais complexos que levam em conta restrições geográficas ou comportamento de grupo entre os nós. Dentre os mais populares estão os presentes na ferramenta *Bonnmotion* [2] utilizada pelo *framework*, justamente por estarem implementados em uma ferramenta relacionada ao tema, o que facilita a popularização do modelo de mobilidade e a sua utilização.

Para a seleção do modelo de mobilidade que melhor representa os traços estudados, foi

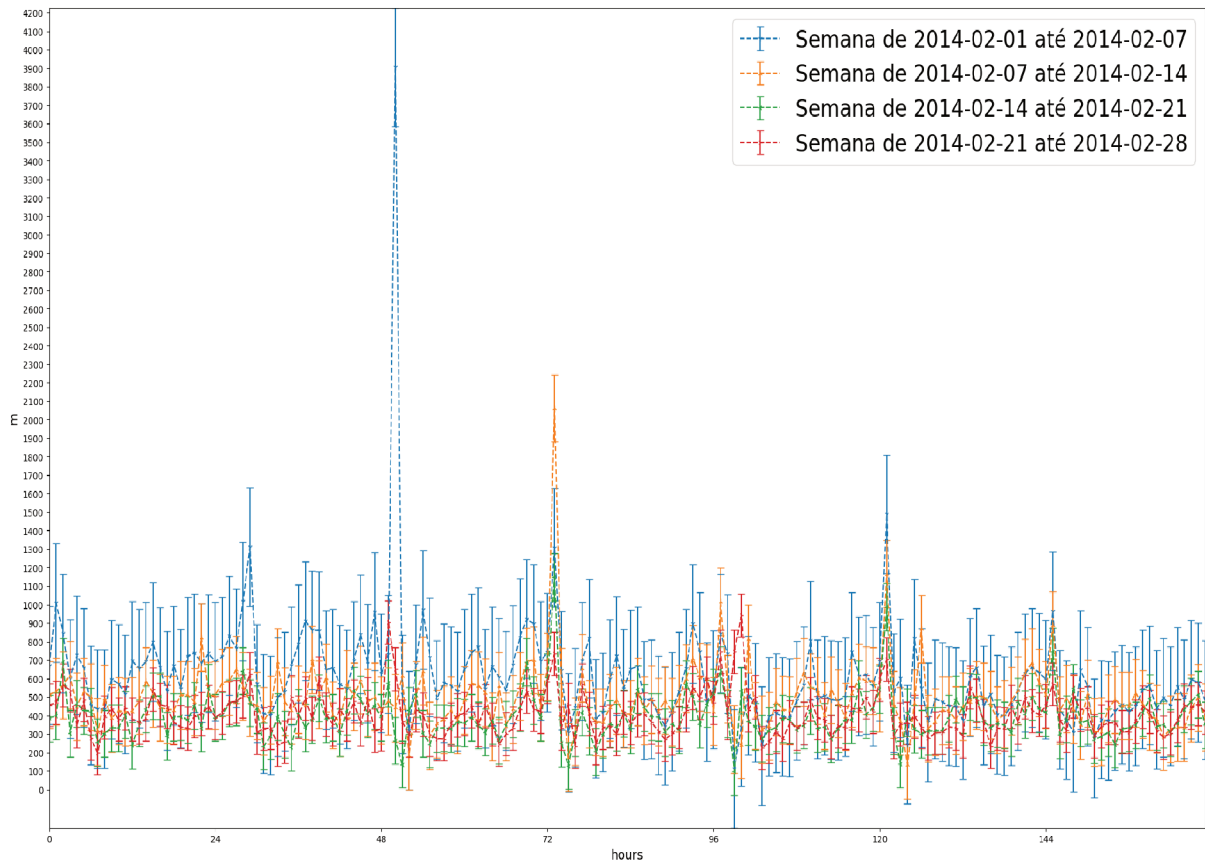


Figura 6.5 – Deslocamento médio do Percurso sobre os traços de Roma nas quatro semanas

utilizada o modelo proposto em [11], representado pela Árvore de decisão já apresentada na Figura 4.2. Como já dito anteriormente, os dados foram separados e computados em arquivos hora a hora, somando assim 720 arquivos sobre os 28 dias estudados. Após a computação, os 720 arquivos foram classificados pela AD em três modelos de mobilidade: **CMM** com 480, **Column** com 123 e **RPGM** com 117 arquivos. Apesar ter sido encontrados modelos diferentes para o conjunto de dados, todos os três modelos identificados buscam uma abordagem realista de simulação de redes *ad hoc*. O modelo Column [33] entende o cenário com uma grade para gerar seus traços de mobilidade, onde os nós se movimentam sobre as linhas dessa grade. O que faz todo sentido para traços reais urbanos, uma vez que boa parte do cenário não é acessível para o movimento dos nós devido à geografia destes espaço (quarteirões/blocos). Restrições estas que modelam a geografia do cenário semelhante a uma grade, como no modelo Column. O RPGM (*Reference point Mobility Group*)[23], apesar de classificado em menor número, também tem seus esforços na tentativa de simular traços mais realistas. Usando uma política de agrupamento dos nós, esse modelo tem o comportamento dos seus grupos derivado das ações de um ponto de referência, usualmente um dos nós participantes. O fato deste aparecer como

um dos modelos classificados pela AD, muito provavelmente se deve aos já citados destinos comuns tomados pelos táxis durante o período observado; o que acaba por simular, indiretamente, um comportamento de grupos similar ao descrito pelo modelo RPGM. O modelo com mais arquivos classificados, o *Community Based Mobility Model* (CMM), baseia-se na teoria de rede social. Isto é, modela o movimento dos nós a partir das suas relações sociais [29]. O que é entendível, pois para o cenário estudado, boa parte dos arquivos foram classificados como CMM. Como já dito anteriormente, os nós tendem a andar muito próximos e ter destinos em comum, representando muito bem a ideia central do CMM.

7 CONCLUSÃO

Analisar traços reais de mobilidade pode ser uma tarefa complicada. Isso se dá, em partes devido ao difícil acesso a dados, e também por existirem poucas bases de dados disponíveis. E em alguns casos, apesar de carregar o status de disponíveis e prontas para uso, servidores ou mantenedores destas não respondem ao contato. A base de dados de Xangai¹ é um exemplo disso, três tentativas de acesso foram feitas e nenhuma obteve sucesso. Em alguns casos também são encontrados endereços eletrônicos inválidos e/ou obsoletos, ou então, não chegam a apresentar um endereço eletrônico de acesso à base de dados, como é o caso de [34]. Outra dificuldade pode ser apontada ao se trabalhar com dados reais, é sobre a precisão e representatividade destes dados. Uma vez que podem ser perdidas e/ou equivocadas as informações devido à imprecisão em métodos de captura, ou ainda, por erro humano. Assim, quaisquer análises feitas sob tais dados requerem uma certa moderação.

Por usar de métricas um tanto simples e pensadas no contexto de traços sintéticos, alguns elementos podem acabar passando despercebidos. Da mesma maneira que algumas informações capturadas podem ser pouco expressivas sobre a essência da mobilidade em redes *ad hoc*. Tendo em vista que a análise foi realizada apenas sobre uma base de dados, asserções generalizantes sobre a mobilidade destas redes são, neste caso, de pouca valia. Ainda assim, significativas informações sobre a mobilidade do cenário estudado puderam ser extraídas através das métricas consideradas.

7.0.1 Trabalhos futuros

1. Levando em consideração a geografia do ambiente urbano, seria interessante para um trabalho futuro – seja sobre esse conjunto de dados aqui utilizado, ou outro –, a reimplantação das métricas utilizando uma medida mais adequada para o ambiente urbano. Ao invés de usar Distância Euclidiana, poderia ser utilizada a Distância de Manhattan[32].
2. Analisar sob a mesma abordagem aqui utilizada, traços gerados Modelo de Mobilidade veicular urbano proposto em [19].

¹ Através do formulário encontrado em: http://wirelesslab.sjtu.edu.cn/taxi_trace_data.html

REFERÊNCIAS

- [1] R. Amici, M. Bonola, L. Bracciale, A. Rabuffi, P. Loreti, and G. Bianchi. Performance assessment of an epidemic protocol in vanet using real traces. *Procedia Computer Science*, 40:92–99, 2014.
- [2] N. Aschenbruck, R. Ernst, E. Gerhards-Padilla, and M. Schwamborn. Bonnmotion: A mobility scenario generation and analysis tool. In *Proceedings of the 3rd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*, SIMUTools '10, pages 51:1–51:10, ICST, Brussels, Belgium, Belgium, 2010. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering).
- [3] F. Bai, N. Sadagopan, and A. Helmy. The important framework for analyzing the impact of mobility on performance of routing protocols for adhoc networks. *Ad hoc networks*, 1(4):383–403, 2003.
- [4] N. Basta, A. ElNahas, H. P. Grossmann, and S. Abdennadher. Spatio-tempo-socio-semantic-aware model for destination prediction in vanet. In *Computing, Networking and Communications (ICNC), 2017 International Conference on*, pages 217–223. IEEE, 2017.
- [5] C. Bettstetter, C. Wagner, et al. The spatial node distribution of the random waypoint mobility model. *WMAN*, 11:41–58, 2002.
- [6] T. Bieniek. Bidirectional utm-wgs84 converter for python. <https://pypi.python.org/pypi/utm>, 2017. [Online; acessado 04-Abril-2018].
- [7] L. Bracciale, M. Bonola, P. Loreti, G. Bianchi, R. Amici, and A. Rabuffi. CRAWDAD dataset roma/taxi (v. 2014-07-17). Downloaded from <https://crawdad.org/roma/taxi/20140717>, July 2014.
- [8] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva. A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pages 85–97. ACM, 1998.
- [9] E. Cavalcanti and M. Spohn. Degree of node proximity: a spatial mobility metric for manets. pages 61–68, 10 2011.

- [10] E. R. Cavalcanti and M. A. Spohn. Avaliação de modelos de mobilidade em redes ad hoc sem fio. Technical report, Technical report, Universidade Federal de Campina Grande, 2008.
- [11] E. R. Cavalcanti and M. A. Spohn. On the applicability of mobility metrics for user movement pattern recognition in manets. In *Proceedings of the 11th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access, MobiWac '13*, pages 123–130, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [12] E. R. Cavalcanti and M. A. Spohn. Métricas de mobilidade em redes ad hoc móveis. 2015.
- [13] C. Chen, J. Hu, J. Zhang, C. Sun, L. Zhao, and Z. Ren. Information congestion control on intersections in vanets: A bargaining game approach. In *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2016 IEEE 83rd*, pages 1–5. IEEE, 2016.
- [14] M. Conti and S. Giordano. Multihop ad hoc networking: The theory. *IEEE Communications Magazine*, 45(4), 2007.
- [15] M. Conti and S. Giordano. Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions. *IEEE Communications Magazine*, 52(1):85–96, 2014.
- [16] F. D. Cunha, D. A. Alvarenga, A. C. Viana, R. A. Mini, and A. A. Loureiro. Understanding interactions in vehicular networks through taxi mobility. In *Proceedings of the 12th ACM Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks*, pages 17–24. ACM, 2015.
- [17] J. de Mendoza y Ríos. In *Memoria sobre algunos métodos nuevos de calcular la longitud por las distancias lunares: y aplicación de su teórica á la solución de otros problemas de navegación*, 1975.
- [18] D. Dias and L. H. M. K. Costa. CRAWDAD dataset coppe-ufrj/riobuses (v. 2018-03-19). Downloaded from <https://crawdad.org/coppe-ufrj/RioBuses/20180319>, Mar. 2018.
- [19] R. T. Feyh and M. A. Spohn. Modelo de mobilidade veicular urbano baseado em traços reais de mobilidade. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 10(1):30–42, 2018.

- [20] S. Giordano and D. Puccinelli. The human element as the key enabler of pervasiveness. In *Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), 2011 The 10th IFIP Annual Mediterranean*, pages 150–156. IEEE, 2011.
- [21] J. Harri, F. Filali, and C. Bonnet. Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 11(4), 2009.
- [22] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C.-C. Chiang. A group mobility model for ad hoc wireless networks. In *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 53–60. ACM, 1999.
- [23] X. Hong, M. Gerla, G. Pei, and C.-C. Chiang. A group mobility model for ad hoc wireless networks. In *Proceedings of the 2Nd ACM International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, MSWiM '99*, pages 53–60, New York, NY, USA, 1999. ACM.
- [24] J. G. Jetcheva, Y.-C. Hu, S. PalChaudhuri, A. K. Saha, and D. B. Johnson. CRAWDAD dataset rice/ad_hoc_city (v. 2003-09-11). Downloaded from https://crawdad.org/rice/ad_hoc_city/20030911, Sept. 2003.
- [25] D. B. Johnson and D. A. Maltz. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *Mobile computing*, pages 153–181, 1996.
- [26] S. Kumar, S. Sharma, and B. Suman. Classification and evaluation of mobility metrics for mobility model movement patterns in mobile ad-hoc networks. *International journal on applications of graph theory in wireless ad hoc networks and sensor networks*, 3(3):25, 2011.
- [27] B. Liang and Z. J. Haas. Predictive distance-based mobility management for pcs networks. In *INFOCOM'99. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, volume 3, pages 1377–1384. IEEE, 1999.
- [28] S. McCanne, S. Floyd, et al. The lbnl network simulator, ns-2, 1997.
- [29] M. Musolesi and C. Mascolo. Designing mobility models based on social network theory. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 11(3):59–70, 2007.

- [30] M. Piorkowski, N. Sarafijanovic-Djukic, and M. Grossglauser. CRAWDAD dataset epfl/mobility (v. 2009-02-24). Downloaded from <https://crawdad.org/epfl/mobility/20090224>, Feb. 2009.
- [31] M. Piorkowski, N. Sarafijanovic-Djukic, and M. Grossglauser. A parsimonious model of mobile partitioned networks with clustering. In *Communication Systems and Networks and Workshops, 2009. COMSNETS 2009. First International*, pages 1–10. IEEE, 2009.
- [32] C. Reinhardt. Taxi cab geometry: History and applications! *The Mathematics Enthusiast*, 2(1):38–64, 2005.
- [33] M. Sánchez and P. Manzoni. Anejos: A java based simulator for ad hoc networks. *Future Gener. Comput. Syst.*, 17(5):573–583, Mar. 2001.
- [34] F. A. Silva, C. Celes, A. Boukerche, L. B. Ruiz, and A. A. Loureiro. Filling the gaps of vehicular mobility traces. In *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pages 47–54. ACM, 2015.
- [35] G. Solmaz and D. Turgut. Modeling pedestrian mobility in disaster areas. *Pervasive and Mobile Computing*, 2017.
- [36] M. H. Trichez. FRAMEWORK DE AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE MODELOS DE MOBILIDADE EM REDES MÓVEIS SEM FIO GUIADA POR MÉTRICAS DEMOBILIDADE. <https://github.com/trichez/IC>, 2017. [Online; acessado 31-Outubro-2017].
- [37] M. H. Trichez and M. A. Spohn. Modified trace analyzer and scripts. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1217611>, Apr. 2018. 10.5281/zenodo.1217611.
- [38] M. H. Trichez and M. A. Spohn. Rome trace dataset in ns2 format. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1217602>, Apr. 2018. 10.5281/zenodo.1217602.
- [39] J. Yoon, M. Liu, and B. Noble. Random waypoint considered harmful. In *INFOCOM 2003. twenty-second annual joint conference of the IEEE computer and communications. IEEE societies*, volume 2, pages 1312–1321. IEEE, 2003.