

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

**Uma Abordagem para Sensoriamento Urbano Preliminar
Usando Coletores de Dados**

Ítalo Raphael Amador Resende

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Informática.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Computação Distribuída

Rostand Edson Oliveira Costa
(Orientador)

João Pessoa, Paraíba, Brasil
© Ítalo Raphael Amador Resende, agosto de 2016

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Informática
Programa de Pós-Graduação em Informática

Ítalo Raphael Amador Resende

**Uma Abordagem para Sensoriamento Urbano Preliminar
Usando Coletores de Dados**

JOÃO PESSOA

2016

R433u Resende, Ítalo Raphael Amador.
Uma abordagem para sensoriamento urbano preliminar
usando coletores de dados / Ítalo Raphael Amador
Resende.-João Pessoa, 2016.
70f. : il.
Orientador: Rostand Edson Oliveira
Costa Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI
1. Informática. 2. Computação distribuída. 3. Cidades
inteligentes. 4. Instrumentação urbana. 5. Sensoriamento
móvel.

UFPB/BC

CDU: 004(043)

Resumo

Este estudo sugere o uso de uma abordagem para o sensoriamento urbano preliminar, no contexto de cidades inteligentes, através do uso de coletores de dados. As abordagens atualmente utilizadas para a instrumentação das cidades normalmente se baseiam em sensores fixos e apresentam desafios referentes à energização, segurança, manutenção e comunicação dos sensores, resultando em aumento de custo dos projetos. Visando à diminuição da complexidade e dos custos observados nos modelos atuais, propomos a utilização de agentes de mobilidade já existentes (como ônibus metropolitanos, por exemplo) para proporcionar mobilidade a sensores tradicionais. Acreditamos que esta estratégia possa ajudar a superar alguns dos obstáculos existentes e permitir um sensoriamento preliminar das cidades de forma mais acessível. Para avaliar a viabilidade da abordagem proposta, uma série de experimentos foi conduzida utilizando-se microestações meteorológicas posicionadas de forma estática e também em movimento. Uma das frentes de avaliação foi comparar a variação das médias de grandezas físicas obtidas através de leituras frequentes versus leituras mais esporádicas, coletadas por sensores estacionários. Em seguida, os resultados obtidos foram comparados com amostras coletadas de forma móvel com a utilização de agentes de mobilidade equipados com sensores e atuando como coletores de dados urbanos. Os resultados apontam que a abordagem é bastante promissora e pode ser usada de forma combinada com estratégias tradicionais, como por exemplo na detecção inicial de ilhas de calor, poluição ou congestionamentos que podem ser, posteriormente, monitoradas com equipamentos de maior precisão.

Palavras-chave: cidades inteligentes, instrumentação urbana, sensoriamento móvel.

Abstract

This study suggests the use of a approach to initial urban sensing, in the context of intelligent cities, by data collectors. The approaches currently used for the instrumentation of the cities are usually based on fixed sensors and present challenges relating to power-up, security, maintenance and communication of the sensors, resulting on the increase of the project's cost. In order to decrease the complexity and costs observed in current models, we propose the use of existing mobility agents (such as metropolitan buses, for example) to provide mobility to traditional sensors. We believe this strategy can help overcome some of the existing challenges and allow a preliminary sensing of the cities in a more affordably way. To evaluate the feasibility of the proposed approach, a series of experiments were conducted using climate microstations positioned statically and also in motion. One of the evaluation fronts was to compare the change in average physical quantities obtained through frequent readings versus more sporadic readings that were collected by stationary sensors. Then the results obtained were compared with samples collected in a mobile way with the use of mobile agents equipped with sensors acting as urban data collectors. The results indicate that the approach is very promising and may be used in combination with conventional approaches, such as the initial detection of heat islands, pollution or traffic jam which can subsequently be monitored with equipments of greater precision.

Keywords: smart cities, urban instrumentation, mobile sensing

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por tudo que me foi proporcionado e por ter me cercado de pessoas boas que me direcionassem ao caminho correto, a minha família que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos e a minha noiva que sempre me apoiou. Agradeço também a Universidade Federal da Paraíba, que por meio do Programa de Pós Graduação em Informática, me proporcionou a oportunidade de ter acesso ao conhecimento e verba necessária para realizar este estudo e ao meu orientador Rostand Costa, que me instruiu e motivou durante todo o processo, pessoa sem a qual este estudo não teria se transformado em realidade. Agradeço a todos aqueles que de forma indireta também contribuíram para a realização deste estudo.

Conteúdo

1 Introdução	1
1.1 Motivação	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura da Dissertação	6
2 Fundamentação Teórica	7
2.1 Cidades Inteligentes	7
2.2 Mobilidade e Sensoriamento Urbano	8
2.3 Métricas da Poluição e Outras Grandezas Físicas	9
2.4 Cidadãos Inteligentes	10
2.5 Repositório de Dados Abertos	11
2.6 Internet das Coisas	12
2.7 Redes de Sensores sem Fio	13
2.8 Considerações	13
3 Trabalhos Relacionados	15
3.1 Principais Trabalhos	15
3.2 Considerações	19
4 Coletores de Dados Urbanos	20
4.1 Desafios do Sensoriamento Tradicional	20
4.2 Redes de Sensores Móveis	21
4.2.1 Motivação	21
4.2.2 Equipamentos Utilizados	22
4.3 Uma Abordagem Pragmática: Sensores Fixos com Agentes de Mobilidade	25
4.4 Esboço da Solução	28

5 Avaliação Experimental	29
5.1 Coleta Estática - Avaliação Experimental	29
5.2 Metodologia	30
5.2.1.Variáveis Independentes	31
5.2.2 Métricas Utilizadas	31
5.3 Resultados Obtidos	33
5.4 Repetição de Experimento	40
5.5 Avaliação Experimental	41
5.6 Metodologia	42
5.6.1.Variáveis Independentes	43
5.7 Resultados Obtidos	43
5.8 Considerações	47
6 Conclusão	48
7 Referências Bibliográficas	50
Anexo A	53
Anexo B	59

Lista de Figuras

Figura 1: Visão do sistema de coleta e transmissão dos dados. Fonte: [Devarakonda et al. 2013]	18
Figura 2: Imagem da micro estação meteorológica fabricada pela Acrobotics Industries Fonte: Google	23
Figura 3: Micro estações meteorológicas montadas e configuradas para a realização da coleta de amostras com sensores estacionários e móveis, respectivamente	24
Figura 4: Visões de satélite do centro da cidade de São Paulo com indicação das ruas com circulação de ônibus (em azul) Fonte: Google Maps	26
Figura 5: Médias horárias da temperatura (a), umidade (b), do dióxido de nitrogênio (c) e do monóxido de carbono (d) de um dado dia apuradas com diferentes intervalos de coleta	35
Figura 6: Variação percentual das médias horárias com diferentes frequências de coleta, coletadas em um dia específico, em relação à média obtida com as amostras coletadas a cada minuto	38
Figura 7: Variação percentual média total das métricas de interesse.....	40
Figura 8: Variação percentual média total das métricas de interesse decorrente da coleta móvel.....	45
Figura 9: Amostras de CO coletadas e tratadas por meio de ferramenta disponível no site < www.gpsvisualizer.com >.....	46

Lista de Tabelas

Tabela 1 Variação Percentual Média das métricas de interesse no período de observação	39
Tabela 2 Variação Percentual Média das métricas de interesse no período de observação	41
Tabela 3 Variação Percentual Média das métricas de interesse no período de observação	44

Lista de Siglas

CO:	Monóxido de Carbono
DTN:	Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões
GPS:	Global Positioning System
IoT:	Internet of Things
MANET:	Mobile Ad Hoc Networks
MSB:	Mobile Sensing Box
NO₂:	Dióxido de Nitrogênio
PSD:	Personal Sensing Device
VSN:	Vehicular Sensor Network
WSN:	Wireless Sensor Network

Lista de Códigos Fonte

Código Fonte 1: Coletas de Amostras de Dados Geolocalizados	53
Código Fonte 2: Coletas de Amostras Com Sensores Estáticos	59

Capítulo 1

Introdução

Em todo o mundo, a tecnologia tem auxiliado na criação de Cidades Inteligentes, uma vez que une pessoas, processos e dados, transformando todos os aspectos da vida na cidade. Aplicativos e dispositivos móveis são fundamentais para mudar a forma como as cidades interagem com as pessoas e vice-versa. Seja na utilização de tecnologias móveis como uma forma de atrair mais empresas e criar melhores experiências para os usuários ou para ajudar pessoas a prosperarem em um mundo de abundância em informação, as Cidades Inteligentes são uma realidade que se faz presente cada vez mais nos dias de hoje.

Conforme descrito por [Mitchell 2003], as cidades inteligentes surgem como uma consequência do crescimento das cidades, onde seus habitantes percebem a necessidade de transformação visando não apenas um aumento na qualidade da vida, como também um cotidiano mais sustentável e ecologicamente mais correto. Coletar dados em abundância e depois processar os mesmos de forma a produzir informações úteis é um grande desafio para as Cidades Inteligentes. Para superar tais desafios, faz-se necessário o uso de novas tecnologias e conceitos.

Do ponto de vista de implantação de serviços e aplicações para Cidades Inteligentes, existe um consenso quanto a extrema importância da construção de repositórios abertos de dados, coletados em tempo real e oriundos de diversas fontes [Ahnn et al. 2011]. Estes repositórios de dados podem ser utilizados de forma a proporcionar suporte às aplicações inovadoras que realizem, por exemplo, o monitoramento ambiental, de segurança, da saúde, da educação e da mobilidade urbana, entre outras. Em um cenário adequado, fluxos contínuos de dados podem popular tais repositórios para análises estratégicas ou para posterior mineração de grandes volumes de dados [Roche et al. 2012].

Porém, devido a limitações tecnológicas existentes, a coleta de grandes volumes de dados voltados ao monitoramento urbano por meio de um elevado número de sensores torna-se um grande desafio, principalmente no que diz respeito à distribuição e manutenção de tais sensores em grandes áreas metropolitanas. Desta forma, iniciativas de integração de conceitos e tecnologias emergentes como *Internet of Things* (IoT), *Wireless Sensor Network* (WSN) e *Mobile Ad Hoc Networks* (MANET) [Zanella et al. 2014]

[Bellavista et al. 2013] se apresentam com grande potencial para dar suporte a um ambiente de sensoriamento urbano de larga escala. Tal cenário pode induzir o surgimento de novas plataformas para aplicações de análise em tempo real em casos de uso estratégicos, por exemplo, definidos pelos gestores municipais [Cranshaw 2013] [Barone et al. 2014].

Nesse contexto, plataformas e ambientes equipados com dispositivos dotados de certo poder de processamento computacional e que cooperam entre si para fornecer ao usuário acesso instantâneo a novos serviços de forma transparente são classificados por [Araújo 2003] como ambientes ubíquos. Estando estes equipados com sensores, incluindo sensores de baixo custo e implantação facilitada, temos um cenário com alto potencial de utilização em monitoramento urbano de larga escala.

Desta forma, pode-se observar o sensoriamento urbano móvel como uma estratégia elaborada com o intuito de realizar a coleta de uma grande quantidade de dados em uma vasta área metropolitana. Para tanto, o equipamento contendo os sensores desejados é posicionado dentro de um veículo que será o agente gerador de mobilidade. Este irá percorrer uma vasta área enquanto a coleta dos dados é realizada em tempo real. Ao unir sensores a um agente de mobilidade é utilizada uma estratégia que produz resultados que justificam a sua aplicação frente à utilização de sensores estacionários. Com a utilização do sensoriamento móvel, a coleta de dados é realizada por meio uma quantidade mínima de equipamentos, impactando positivamente na aquisição, implantação, manutenção e logística dos mesmos, o que a torna uma alternativa bastante atrativa no contexto do sensoriamento urbano, segundo [Cardone et al. 2011].

Neste tipo de abordagem, existem diversas formas que possibilitam aos sensores realizar a coleta de dados em movimento e os distribuírem em algum ponto de coleta específico. Segundo [Akyildiz et al. 2002], uma delas seria a WSN estruturada, outra forma seria entre seus pares, conforme descrito em [Akyildiz et al. 2002], no caso de WSN ad hoc. Também é possível utilizar sensores móveis conectados permanentemente a uma rede de distribuição com cobertura abrangente, como é o caso das tecnologias WiMax [Pareit et al. 2012], satélite, ou celular por meio dos recursos GPRS ou HSDPA [HSPA 2014].

Analisando-se a possibilidade da coleta de dados por meio de sensores móveis, observa-se que tal forma de coleta pode representar uma alternativa viável para a superação

de muitas das dificuldades existentes na utilização de sensores estáticos, a exemplo do alto custo dos projetos, energização dos sensores, bem como sua implantação, logística e manutenção [Cardone et al. 2011]. Isto é possível devido à utilização de uma estratégia que une agentes de mobilidade aos sensores estáticos tradicionais, desta forma é possível minimizar os custos dos projetos uma vez que com a utilização de agentes de mobilidade, diminui-se o número de sensores utilizados, bem como aumenta-se a amplitude da área de coleta dos dados.

1.1 Motivação

Atualmente, o sensoriamento urbano é realizado por meio de sensores posicionados de forma estática o que acaba por gerar uma série de complicações no que diz respeito à logística de aquisição, implantação e manutenção dos sensores. Quanto mais abrangente for à área de coleta de dados, maior deverá ser a quantidade de sensores utilizados e mais complexo o sistema se torna. Desta forma, é observado se ao utilizar o sensoriamento móvel, seria possível obter resultados semelhantes aos obtidos pelo uso de sensores estáticos, porém sem estar sujeito ao aumento dos custos e da complexidade dos projetos.

Sendo assim, observa-se a utilização de sensores unidos a um agente que proporcione a mobilidade, como sendo uma estratégia inovadora, pois mesmo ao se realizar a coleta de dados em uma vasta área, isto não resulta em um aumento significativo na quantidade de sensores a serem utilizados. Como agente de mobilidade, seria necessária a utilização de um veículo que fosse capaz de percorrer uma vasta área metropolitana, que realizasse um trajeto fixo, bem como proporcionasse um ambiente propício à instalação dos sensores em seu interior.

Uma vez que já existe toda uma infraestrutura de transporte construída, torna-se mais fácil utilizar a mesma de forma a proporcionar energização, abrigo e mobilidade para os sensores. Sendo assim, a instalação de dispositivos específicos de sensoriamento na frota de transporte público metropolitano representa uma estratégia vantajosa. Em particular, no caso de transporte público, os ônibus circulam frequentemente por um mesmo percurso, garantindo a produção periódica de várias amostras de inúmeros pontos de uma vasta área.

Isso também possibilita uma cobertura inicial mais ampla da cidade incluindo as áreas de periferia. Dessa forma, os intervalos de coleta e os locais onde as mesmas podem

ser realizadas podem ser relacionados com a estratégia de distribuição dos sensores móveis pela malha de transporte metropolitano.

Uma vez que ônibus sejam utilizados para a realização do sensoriamento urbano móvel, há de se observar se os dados coletados pelos sensores alocados nos mesmos são equivalentes aos dados coletados pelos sensores posicionados de forma estática, bem como se ao realizar coletas móveis em intervalos mais esparsos ocasionaria em perda significativa na precisão dos dados em questão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Uma vez apresentado o contexto geral dos desafios de se realizar a instrumentação das cidades para o sensoriamento urbano usando abordagens tradicionais, este trabalho tem como objetivo geral a investigação da viabilidade de uma abordagem alternativa baseada em coletores de dados, compostos de sensores fixos associados com agentes de mobilidade, como uma estratégia para o sensoriamento preliminar das cidades.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como forma de validar o objetivo principal deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

Objetivo 1: Observar se há perda significativa de precisão entre leituras fixas frequentes e esporádicas.

Objetivo 2: Observar se há variação significativa entre leituras esporádicas fixas e móveis.

Objetivo 3: Avaliar se os dados coletados de forma esporádica com o uso de sensores móveis permitem uma instrumentação adequada.

1.3 Metodologia

A elaboração deste trabalho tem como metodologia as seguintes atividades:

- **Atividade 1 - Análise bibliográfica:** realizar um levantamento bibliográfico detalhado sobre os principais trabalhos relacionados à sensoriamento urbano e

pesquisar os trabalhos mais relevantes que envolvam sensores móveis, focando em metodologias inovadoras;

- **Atividade 2 - Estudo sobre técnicas de coleta de dados ambientais:** realizar um estudo sobre técnicas e plataformas usadas no sensoriamento de dados ambientais urbanos, com foco em sensores de baixo custo, móveis e estacionários;
- **Atividade 3 - Configuração dos sensores estáticos:** configurar uma micro estação meteorológica de forma que esta realize a coleta dos dados referente aos sensores em questão e os envie a um repositório de dados virtual.
- **Atividade 4 - Tratamento dos dados coletados pelos sensores estáticos:** tratar os dados que tenham sido gerados de forma incorreta pelos sensores durante a realização dos experimentos ou outliers.
- **Atividade 5 - Análise dos dados coletados pelos sensores estáticos:** tendo em vista a utilização de diferentes intervalos considerados para a coleta de dados, verificar a possível variação nos intervalos respectivos.
- **Atividade 6 - Configuração dos sensores móveis e geolocalizados:** configurar sensores de métricas ambientais de modo que estes realizem a coleta dos dados de forma móvel, geolocalizada e os armazene em um cartão de memória para posterior análise.
- **Atividade 7 - Coleta de dados com os sensores móveis:** coletar os dados utilizando os sensores móveis previamente configurados, de forma que estes geolocalizem os dados coletados, respeitando o intervalo de coleta de um minuto e a localização geográfica onde os dados devem ser coletados.
- **Atividade 8 - Tratamento dos dados coletados pelos sensores móveis:** tratar os dados que tenham sido gerados e que não correspondam a realidade do experimento em questão.
- **Atividade 9 - Coleta de dados com os sensores estáticos e móveis:** coletar os dados por meio de sensores posicionados de forma estática e móvel, utilizando-se um mesmo ambiente de coleta e respeitando o intervalo de coleta de um minuto.
- **Atividade 10 - Análise comparativa dos dados coletados pelos sensores móveis e estáticos:** realizar uma análise experimental para aferir as eventuais perdas de

precisão entre leituras frequentes e leituras esporádicas realizadas pelos sensores de métricas ambientais.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento está dividido em 6 Capítulos. O Capítulo 1 apresenta o trabalho de maneira geral descrevendo sua motivação, relevância, objetivos e metodologia utilizada para comprovar o conceito de viabilidade deste estudo. No Capítulo 2, encontra-se a fundamentação teórica com as definições relacionadas aos principais conceitos que fundamentam este trabalho como cidades e cidadãos inteligentes, a mobilidade e o sensoriamento urbano, fundamentando a importância da base de dados aberta e concluindo com noções acerca de *Internet of Things* (IoT) e *Wireless Sensor Network* (WSN).

Os estudos que apontam a importância deste trabalho encontram-se descritas no capítulo 3 enquanto no capítulo 4 é abordado o uso de Coletores de Dados Urbanos. No capítulo 5 é demonstrada a avaliação experimental bem como a metodologia e os resultados obtidos com os experimentos conduzidos. Ao final, no capítulo 6, encontra-se a conclusão alcançada neste trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo, serão citados alguns dos conceitos que circundam o tema deste estudo. Tem-se como início a descrição do conceito de *Cidades Inteligentes*, em seguida serão apresentados argumentos que demonstram a importância da utilização do *Sensoriamento Urbano* bem como da sua aplicabilidade no monitoramento da *Mobilidade e Sensoriamento Urbano* e a apresentação das *Métricas de Poluição e Outras Grandezas Físicas*. Posteriormente, será exposta a importância do conceito de *Cidadãos Inteligentes* e *Bases de Dados Abertos* e, ao final, são apresentadas definições para *Internet das Coisas* (do inglês *Internet of Things* ou IoT) e *Redes de Sensores sem Fio* (do inglês *Wireless Sensor Network* ou WSN), como tecnologias que podem contribuir para o alavancar do sensoriamento urbano.

2.1 Cidades Inteligentes

Com o aumento do crescimento demográfico, as cidades acabam por concentrar uma parcela cada vez maior da população, de acordo com informações fornecidas pela Organização das Nações Unidas [Mitchell 2003]. Como uma tentativa de amenizar as dificuldades geradas pelo aumento na demanda por produtos e serviços causada por este crescimento populacional urbano, faz-se necessário à existência de toda uma infraestrutura para dar suporte aos diversos aspectos da vida do cidadão, a exemplo da alimentação, segurança, moradia e transporte.

Desta forma, como um meio para gerar melhorias urbanas que venham a proporcionar uma maior qualidade na mobilidade dos cidadãos, foi proposta por [Mitchell 2003], uma noção de cidade inteligente que hoje é aceita e utilizada por muitos. Esta se popularizou por ter uma premissa que transmite uma visão de cidades que possam ser mais habitáveis, sustentáveis e que proporcionem eficiência por meio do uso de uma infraestrutura tecnológica, o que inclui áreas como o desenvolvimento urbano sustentável, o uso de tecnologias de informação e comunicação voltadas à gestão de serviços e a formação de cidadãos que sejam mais responsáveis.

Para tanto, torna-se necessário que as cidades passem por profundas transformações e evolução, algumas delas apoiadas pelo uso de tecnologia e processamento de

informações, em um amplo conceito conhecido atualmente como *ciudades inteligentes*. Para que uma cidade seja considerada inteligente, dentre outros aspectos, faz-se necessário integrar ao cotidiano dos cidadãos um estilo de vida mais sustentável por meio de métodos que possibilitem melhorias significativas em áreas como infraestrutura, planejamento, gerenciamento e meio ambiente [Mitchell 2003].

Em uma cidade que se enquadre em tal conceito é pressuposta a existência de um ecossistema que abranja e explore tecnologias, aplicativos e pessoas. Os caminhos e estratégias aplicáveis na direção de tornar as cidades mais inteligentes apresentam-se sempre desafiadores, pois as cidades, atualmente, são o resultado de um conjunto consolidado de visões, tecnologias e políticas específicas. Para que este novo conceito seja posto em prática, faz-se necessário remodelar estas mesmas noções e práticas.

No senso comum, o tornar-se “cidade inteligente” pressupõe a adoção de novas tecnologias e metodologias, o que deve ser observado levando-se em consideração a infraestrutura que uma cidade possui atualmente e o que ainda precisa ser implantado. De acordo com [Picon 2014], fica cada vez mais evidente uma tendência, uma predisposição em se investir de modo a financiar a transformação das cidades em cidades inteligentes. Aqueles que assumem tal postura, além de vislumbrar as tecnologias e políticas envolvidas no processo inovador de construção de uma cidade inteligente, também visam à criação das redes e atores que são representados na pessoa de cada cidadão e que atuam de forma decisiva para concretização deste conceito.

Como um exemplo de uma cidade que adota tais iniciativas pode-se citar a cidade de Padova, Itália, onde se adota a utilização de sensores espalhados por uma vasta área metropolitana como forma de coleta de dados, onde os dados são posteriormente enviados à centrais de processamento para serem posteriormente utilizados pelos gestores públicos durante o processo de tomada de decisões [Cenedese et al. 2014].

2.2 Mobilidade e Sensoriamento Urbano

A mobilidade urbana vem se apresentando como um campo no qual o conceito de cidades inteligentes vem sendo utilizado com maior intensidade. De acordo com [Denis & Urry 2009], este campo também demonstra ser de grande interesse para os governos em geral, uma vez que a mobilidade é vista como um agente gerador de crescimento econômico, bem como um causador de impactos ambientais tais como a poluição. Tais

questões são encaradas pelas autoridades e empresas como um desafio que estimula a criação de soluções inovadoras, gerando novas tecnologias que ao serem aplicadas, conduzam na direção de um sistema de transporte mais sustentável e eficiente.

Uma vez que os sensores vem se tornando cada vez mais baratos e acessíveis [Ayaki et al. 2012], a utilização destes como uma ferramenta para auxiliar na realização de atividades como o monitoramento dos serviços prestados aos cidadãos, vem sendo cada vez mais utilizados, conforme pode ser observado em algumas cidades como Padova, Itália [Cenedese et al. 2014], onde por meio da utilização de sensores espalhados pela cidade, dados são capturados de forma à auxiliar na gerência de processos como o transporte e controle de iluminação pública. Segundo [Perera et al. 2014], a utilização de sensores é fundamental no contexto de cidades inteligentes, uma vez que cabe a estas proporcionar a minimização do uso dos recursos naturais disponíveis, bem como maximizar resultados.

Como consequência, diversas iniciativas e estudos vêm sendo formados por governos, empresas e estudiosos no sentido de pôr em prática inovações que impactem positivamente na sociedade. Para tanto, estão sendo executados projetos visando integrar novos conceitos e tecnologias que possuam potencial para dar suporte a um ambiente de sensoriamento urbano, o que, de acordo com [Cranshaw 2013] [Barone et al. 2014], pode induzir a criação de aplicações que poderiam vir a ser utilizadas pelos gestores municipais e também pelos moradores das cidades.

2.3 Métricas da Poluição e Outras Grandezas Físicas

Uma vez que os sensores tidos como tradicionais são ferramentas utilizadas, em sua maioria, com o objetivo de capturar dados do ambiente que os cerca [Cenedese et al. 2014], no contexto do sensoriamento urbano, as grandezas físicas que mais tem se destacado ao serem listadas em estudos publicados em artigos científicos são as grandezas ambientais. Como exemplo, pode-se citar a umidade relativa do ar (RH), temperatura (T), monóxido de carbono (CM), dióxido de nitrogênio (ND), nível de luminosidade (AL) e nível de ruído (AS) como grandezas que integram este grupo. Estas grandezas se destacam das demais, por se fazerem presentes no dia-a-dia do cidadão e no que diz respeito à aplicabilidade do conceito de Cidades Inteligentes, uma vez que este conceito implica, dentre outras características, na melhoria das condições ambientais e de vida dos cidadãos [Mitchell 2003].

Tendo em vista a importância presente nestas grandezas, faz-se necessário que se haja uma maneira de acompanhar a sua evolução. Para tanto, foram montados e configurados equipamentos que permitem mensurar tais características de forma a gerar informações gráficas que facilitem o acompanhamento da variação que venha a ser apresentada pelos dados. Um exemplo de equipamento desenvolvido para este fim é a micro estação meteorológica denominada *Smart Citizen* e utilizada na cidade de Padova, Itália, com o objetivo de acompanhar a evolução dos números referentes às características ambientais na cidade, acerca das grandezas físicas listadas anteriormente.

Outros equipamentos também foram desenvolvidos para este fim, sejam equipamentos de grande porte como as macro estações meteorológicas governamentais, ou pequenos equipamentos utilizados em experimentos científicos como o apresentado em [Devarakonda et al. 2013] e [Liu et al. 2011], que visam monitorar os índices referentes a poluição do ar em ambiente urbano. Sendo assim, fica cada vez mais evidente a importância que os sensores possuem como ferramenta para acompanhar a evolução, metrificando os dados coletados referente as grandezas listadas anteriormente.

2.4 Cidadãos Inteligentes

A visão de [Goodchild 2007] expressa que com a disponibilidade de tecnologias como *smartphones*, os cidadãos passam a ser capazes de coletar, processar e disponibilizar os dados aos demais. Tais tecnologias também exigem dos cidadãos um certo nível de capacitação para lidar com os constantes avanços de uma cidade que caminha constantemente para implantação do conceito de cidade inteligente. Para que este conceito possa ser implantado, faz-se necessário que os cidadãos compreendam a importância de seu papel de forma a poderem lidar com as exigências advindas das novas demandas. Desta forma, fica evidente a importância do cidadão munido de tecnologias inovadoras como um fator relevante na concepção de uma cidade inteligente.

As novas arquiteturas tecnológicas desenvolvidas, bem como a forma como estas serão postas à disposição do público podem contribuir e induzir a definição de novos parâmetros para moldar os cidadãos inteligentes. Todos estes aspectos transparecem uma visão onde o território urbano é reinventado e pode ser interpretado como real e virtual, onde os conceitos de cidade e cidadão inteligente não estão ligados apenas a algumas poucas tecnologias desenvolvidas e sim a uma concepção de algo inteiramente planejado para atender as demandas urbanas atuais [Graham & Marvin 2002]. Ao passo que estas

tecnologias são idealizadas, os serviços urbanos como estradas, mapas, pontos de ônibus, iluminação pública, dentre outros, passam a ser considerados dentro de um mesmo contexto de características integradas e que podem ser programadas, o que está diretamente ligado a visão descrita por [Graham & Marvin 2002].

É um fato que as cidades foram construídas por pessoas e que estas ao realizarem tal feito o fizeram sobre a utilização de conceitos que atualmente sofrem mudanças profundas. Com a proliferação da automação de serviços, que chegam a abranger grandes áreas urbanas, faz-se necessário que tecnologias possam ser utilizadas de modo a auxiliar na formação de um cidadão mais informado e preparado para utilizar estas tecnologias com o objetivo de melhor gerenciar este processo de mudança social.

As cidades inteligentes possuem a característica de chamar a atenção daqueles que procuram, por meio da tecnologia, identificar novos desafios. Nas descrições de [Sheller & Urry 2006], isto pode ser evidenciado ao se observar que os cidadãos estão utilizando equipamentos cada vez mais sofisticados e com alto poder de processamento e integração social, como *smartphones*, *tablets* e equipamentos GPS.

2.5 Repositório de Dados Abertos

A utilização de repositório de dados abertos permite a idealização de um ambiente mais focado no acesso aos dados, tornando possível a participação da sociedade no sentido de desenvolver metodologias e ferramentas que sejam mais eficientes ao atender a demandas sociais tais como segurança, mobilidade. Tendo em vista a utilização de bases de dados abertos fica evidente que, quando compartilhado abertamente, este tem seu valor e seu uso potencializados. Desta forma torna-se possível o desenvolvimento de um ambiente de dados que beneficiará a sociedade e possibilitará o envolvimento de seus setores, a exemplo da iniciativa privada, o setor acadêmico e o governo, pois é interesse destes proporcionar soluções de modo mais eficiente.

Pode-se observar como exemplo, as informações disponibilizadas pelo site governamental www.dados.gov.br [SLTI 2016], que trata do Portal Brasileiro de Dados Abertos. Por meio deste site, dados referentes a saúde pública, transporte, segurança e educação, por exemplo, podem ser acessados por qualquer cidadão. Uma vez que estes dados encontram-se disponibilizados de forma digital, aplicativos podem ser desenvolvidos visando à utilização dos dados e isso empossa o cidadão de maiores ferramentas para que

seja possível exercer cada vez mais a sua cidadania. Outro exemplo a ser observado acerca do uso de bases de dados abertos é o projeto *Padova Smart City* [Cenedese et al. 2014]. Por meio deste, foi formada uma base de dados abertos que possibilita a geração e compartilhamento de dados relacionados ao meio ambiente da cidade de Padova, Itália, por meio de uma plataforma disponível na internet.

A abertura de repositórios de dados pode ser observada, atualmente, pela atitude dos próprios governos a exemplo do governo brasileiro, que desde 2009 vem pondo em prática toda uma política de disseminação de dados e informações de domínio governamental, no sentido de permitir o livre uso dos mesmos pela sociedade [SLTI 2016]. Acredita-se que com a acessibilidade dos dados por meio do uso de repositórios de dados abertos, haja um aumento no desenvolvimento de ferramentas que venham a atender a algumas das demandas de nossa sociedade.

2.6 Internet das Coisas

A *Internet das Coisas* (do inglês *Internet of Things* ou IoT) tem como conceito fundamental a interação entre pessoas e objetos como sensores e tecnologias diversas, possuidoras de identificação única e acessíveis a qualquer momento e em qualquer local visando atingir um objetivo em comum [Guillemin et al. 2009]. A IoT é impulsionada principalmente pelos avanços tecnológicos e de acordo com [Perera et al. 2014], o conceito de IoT bem como o de cidades inteligentes vem chamando a atenção dos estudiosos, mesmo estes sendo conceitos recentes.

Desta forma, torna-se indiscutível que a IoT irá impactar positivamente sobre diversos aspectos do cotidiano do cidadão, a exemplo de aplicativos que visem monitorar questões referentes a saúde, segurança, monitoramento do trânsito, bem como a automação residencial [Atzori et al. 2010].

Tendo em vista as diversas áreas onde a IoT pode ser aplicada, justifica-se que a mesma esteja citada na lista das seis tecnologias civis com impactos potenciais sobre o poder nacional, pelo Conselho de Segurança Nacional dos Estados Unidos [Atzori et al. 2010]. Este também prevê que até 2025 os equipamentos tecnológicos estarão presentes em todas as áreas do cotidiano dos cidadãos.

2.7 Redes de Sensores sem Fio

Por definição, uma **Rede de Sensores sem Fio** (do inglês *Wireless Sensor Network* ou WSN) é uma coleção de nós organizados em redes de trabalhos de colaboração mútua [Hill et al. 2000]. Cada um dos nós é dotado de certa capacidade de processamento, pode conter tipos diferentes de memória para armazenamento temporário de dados, é dotado de um transmissor de rádio frequência, possui uma fonte de energia que alimenta as suas operações e comporta uma série de sensores e atuadores. Segundo [Bellavista et al. 2013], esta tecnologia tornou-se bastante atrativa devido ao seu vasto potencial de usabilidade nas mais diversas áreas tais como medicina, setor militar, sistema de transporte e gestão dos recursos do meio ambiente.

Como exemplo de **Redes de Sensores sem Fio**, pode-se citar a Mobile Ad Hoc Networks (MANET), que utiliza os conceitos de uma WSN, porém os dados capturados são transmitidos entre os nós mais próximos, sem haver a necessidade de existir um ponto de acesso que uma os mesmos, gerando maior flexibilidade na rede [Giordano 2002]. Uma característica interessante deste tipo de rede é a de não existir restrição para que a mesma seja utilizada juntamente com dispositivos como impressoras ou celulares, contanto que exista o suporte apropriado [Giordano 2002].

É notório o reconhecimento de que as WSNs apresentam um elevado potencial no sentido de compreender a dinâmica das cidades visando o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e que possam gerar estimativas bastante precisas a respeito das condições e características do meio ambiente urbano, utilizando tais redes como fonte de captação e disseminação de informações sobre as cidades.

2.8 Considerações

Foram apresentados neste capítulo alguns conceitos que fundamentam este estudo. Foi explicada a aplicação do conceito das cidades inteligentes e a forma como os cidadãos podem colaborar para este processo. Também foi abordado neste capítulo, a importância do uso de sensores visando alimentar repositórios de dados abertos, bem como uma forma de aferir a possível variação dos indicadores voltados as características ambientais. Por fim, foi citada a importância das tecnologias IoT e WSN como forma de alavancar o sensoriamento urbano, onde por meio destas, torna-se possível a transmissão dos dados

coletados pelos sensores de forma que os dados possam ser inseridos em uma base de dados aberta, estimulando o desenvolvimento de plataformas para aplicações que satisfaçam a demanda por soluções que exijam análise em tempo real.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Nesse capítulo, serão apresentados os principais trabalhos relacionados com a nossa pesquisa presentes na literatura, visando identificar possíveis estratégias que tenham sido elaboradas nesse sentido, bem como avaliar outras estratégias similares que estejam sendo utilizadas para contribuir com o sensoriamento urbano.

Utilizando as palavras de busca “instrumentação urbana” e “sensoriamento móvel”, foram pesquisados trabalhos acadêmicos, bem como artigos científicos que envolveram tecnologias e abordagens utilizadas para aplicação do sensoriamento nas cidades. Tentamos agrupá-los em algumas correntes, as quais foram organizadas na forma das subseções seguintes.

3.1 Principais Trabalhos

Devido ao interesse de coletar dados advindos do ambiente urbano, observa-se a utilização de métodos distintos de coleta destes dados, como exemplo pode-se citar o trabalho apresentado por Lee e outros [Lee et al. 2006], o qual descreve a utilização de uma rede de sensores veiculares (VSN) como uma forma alternativa frente ao sensoriamento tradicional. Segundo [Lee et al. 2006], uma VSN consiste de sensores acoplados a veículos para a realização da coleta de dados, o que supriria algumas das deficiências como número de sensores e custo do projeto, quando comparado ao sensoriamento tradicional que consiste de espalhar uma grande quantidade de sensores em um determinado ambiente para a coleta de dados. Uma das principais vantagens apresentadas pela VSN é a capacidade que este modelo apresenta de coletar dados em áreas urbanas, sem que os custos do projeto se elevem ao ponto de torna-lo impraticável. Na abordagem utilizada neste estudo, o próprio nó móvel é utilizado para o armazenamento dos dados coletados em áreas urbanas.

Outro aspecto, desta vez levantado por Gerla [Gerla et al. 2006] é que a metodologia utilizada para a realização das coletas também pode influenciar nas características do *hardware* utilizado, minimizando os requisitos voltados para o armazenamento dos dados e de rede. Segundo Gerla [Gerla et al. 2006], após avanços no estudo desta área, foi proposto

um conceito para um novo *middleware* voltado para ambientes proativos de monitoramento urbano, chamado MobEyes. Este modelo foca na forma como os dados são coletados pelos sensores e encaminhados ao seu destino, sendo de grande importância para o nosso estudo, pois partindo deste ponto, visando o conceito de cidades inteligentes, desenvolve-se uma abordagem mais pragmática para a coleta eficiente de dados urbanos.

Outra iniciativa foi proposta por Hu [Hu et al. 2009] em uma abordagem também baseada no uso de redes de sensores veiculares, que com auxílio de uma infraestrutura de rede celular GSM proporcionaria o monitoramento de emissões de dióxido de carbono existente no ambiente urbano. A principal diferença com relação ao trabalho de Lee é que Hu apresenta um contexto onde os dados coletados são enviados quase que em tempo real por meio de mensagens GSM para um servidor web que recebe pequenos pacotes de dados referentes a coleta realizada, bem como as coordenadas geográficas onde os dados foram coletados.

Levando-se em consideração o monitoramento de condições ambientais, mais precisamente a emissão de carbono, foi proposta por Mao uma plataforma denominada CitySee [Mao et al. 2012], que propõe uma forma de diminuir a complexidade existente na logística que envolve a estratégia de distribuição dos sensores e o tratamento dos dados coletados no território urbano. Neste sentido, são estudados métodos de posicionamento de sensores em uma área de aproximadamente 100 Km², bem como são observados os desafios que podem surgir ao se aplicar o sensoriamento em uma área tão vasta. Como exemplo de desafios observados pode-se citar: posicionamento dos sensores, coleta e processamento dos dados e gerenciamento da rede de sensores.

Com base na ideia de monitorar a qualidade do ar utilizando sensores, diversas outras iniciativas foram propostas, podendo ser citada a pesquisa realizada por Liu e outros [Liu et al. 2011], que propunha a realização do monitoramento por meio do uso da tecnologia de redes de sensores sem fio (WSN). Este modelo foi utilizado para realizar o monitoramento do monóxido de carbono existente em algumas das vias públicas da cidade de Taipei, Taiwan.

Neste contexto, segundo [Bruno et al. 2013] e [Yu et al. 2012], diversas outras áreas tiveram aplicações baseadas em VSNs desenvolvidas conforme o que foi observado no caso do monitoramento da qualidade do ar em ambiente urbano. Como exemplo pode-se

citar aplicações voltadas à segurança e monitoramento urbano. Porém, mesmo havendo um aumento no poder computacional e capacidade de armazenamento, características advindas da utilização de tecnologias VSN, algumas desvantagens ainda podem ser observadas na forma como os dados coletados pelos nós são enviados a seu destino, tais como vulnerabilidade quanto a perda de pacotes. Deste modo, foi proposto por [Lee et al. 2006], a utilização de dois protocolos de coleta de dados, sendo estes considerados possíveis de serem utilizados em nossa abordagem.

Existe a proposta da utilização de uma estrutura de rede que permita a conexão ponto-a-ponto, entre o nó coletor do dado e a entidade de destino, conforme observado em [Ahn et al. 2011]. Além disso, foi analisado a partir dos estudos de [Devarakonda et al. 2013] e [Shah et al. 2003] a utilização do transporte público, sob a figura do ônibus, como agentes geradores de mobilidade o que dinamizaria o sensoriamento urbano. Também foi estudada a viabilidade de se utilizar veículos com sensores em seu interior, o que resultaria em uma coleta móvel, localizada e com equipamentos mais baratos, conforme a demonstrado na Figura 1, ao invés de se utilizar uma grande quantidade de equipamentos posicionados de forma estática, como meio para a coleta dos dados desejados. Para isso, são propostos dois modelos de custo benefício.

No primeiro modelo, seria utilizado o sistema de transporte público e no segundo modelo seria utilizado nos veículos pessoais. Foram utilizados dois equipamentos para realização das coletas de dados: uma caixa contendo sensores móveis que foi desenvolvida pelos estudantes do projeto e um dispositivo pessoal de sensoriamento desenvolvido por uma empresa privada. Ambos os dispositivos utilizavam-se da conectividade fornecida por um celular para transmissão de dados. Experimentos foram realizados com ambos os equipamentos no sentido de observar se haveria alguma mudança nos resultados caso os equipamentos fossem posicionados dentro ou fora do veículo.

Um primeiro experimento foi realizado utilizando-se ambos os sensores em um mesmo lugar, porém fora do veículo. Os resultados mostraram uma correlação entre os dados coletados por ambos. Um segundo teste foi realizado, desta vez com a caixa de sensores posta fora do veículo e o outro dispositivo ficou dentro do veículo. Foi observado que os dados apresentados pelas amostras coletadas por ambos os equipamentos apresentaram valores bastante semelhantes. Os equipamentos foram nomeados de *Mobile Sensing Box* (MSB) e *Personal Sensing Device* (PSD).

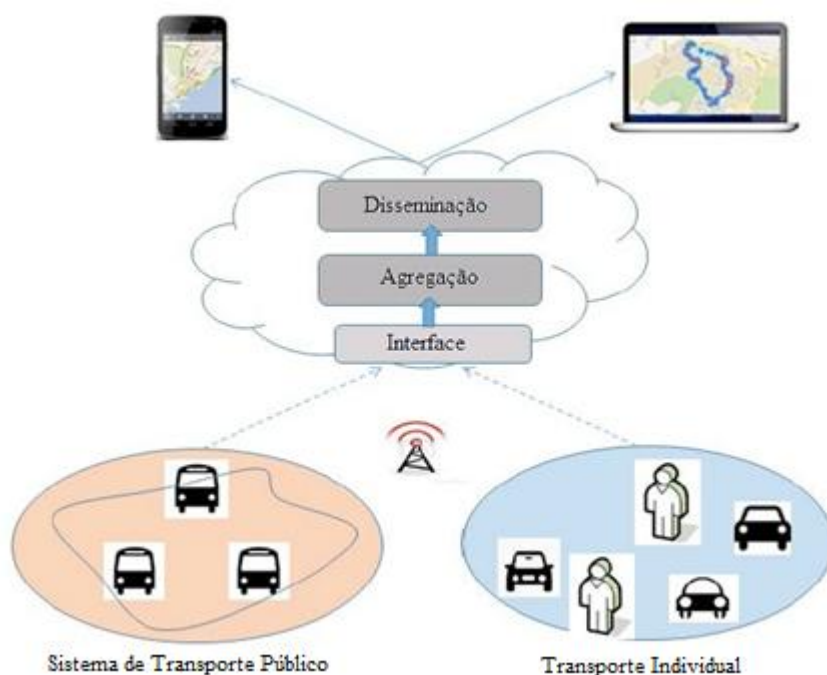


Figura 1: Visão do sistema de coleta e transmissão dos dados. Fonte: [Devarakonda et al. 2013].

O MSB foi desenvolvido utilizando-se o micro controlador *Arduino*, por sua biblioteca de código aberto e grande número de desenvolvedores. O PSD foi customizado unindo-se alguns sensores compatíveis com uma plataforma existente. Com estes dispositivos, seria possível coletar os dados através dos sensores, transmitir os mesmos a um servidor na nuvem e permitir que usuários possam ter acesso aos dados finais, processados, por meio de navegadores em dispositivos móveis como celulares e *tablets*. Para que isso fosse possível, foi desenvolvida uma aplicação para o sistema operacional IOS capaz de sincronizar com qualquer dos dois sensores e enviar os dados coletados pelos mesmos ao servidor na nuvem. Por fim, ambas as abordagens citadas se demonstraram viáveis.

Na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, foi realizado um estudo [Gerais 2016], baseado na implantação de sensores com a função de auxiliar na manutenção das leis de trânsito, auxiliando os policiais na tarefa de fiscalizar possíveis infrações que viessem a ser cometidas pelos motoristas da cidade. Para tanto, foi feito o uso de um sensor de fluxo de veículos, que por meio da leitura das placas dos mesmos, é capaz de gerar uma estimativa de quantos veículos trafegam em uma determinada via no perímetro urbano, identificando assim as regiões que encontram-se mais propensas à ocorrência de congestionamentos,

proporcionando a geração de dados com os quais as entidades públicas governamentais respectivas possam tomar decisões, no sentido de diminuir os impactos gerados pelo trânsito, na sociedade.

Também foram utilizados sensores que monitoram a velocidade dos veículos que trafegam em uma determinada região, bem como sensores cuja função é a de registrar veículos que venham a ultrapassar os sinais vermelhos. Segundo os dados apresentados por [Gerais 2016], estando os sensores posicionados de forma fixa, de acordo com as estatísticas liberadas pelo governo, no ano de 2014, foram geradas aproximadamente 500 mil multas o que mostra a eficiência e impacto da utilização de sensores no ambiente urbano.

3.2 Considerações

Foram apresentados neste capítulo os principais trabalhos relacionados com o nosso estudo e presentes na literatura, incluindo protótipos, projetos e artigos científicos. Foi possível observar que existe uma tendência em se adotar cada vez mais a utilização de sensoriamento móvel em perímetros urbanos, o que pode ser evidenciado pelo surgimento de um grande número de projetos como *MobEyes* e *CitySee*. Nos artigos que descrevem sistemas de monitoramento, observa-se o interesse em se unir os sensores em topologias hierárquicas e/ou centralizadas. O principal objetivo é que os dados coletados possam não apenas ser trocados entre os nós de sensores, mas também enviados diretamente para uma estrutura central para posterior processamento e disseminação, de forma que diversos clientes possam fazer uso dos mesmos, incluindo quaisquer aparelhos dotados de capacidade de acesso à Internet, como *smartphones* e *tablets*. Tais aparelhos ganham um papel fundamental no contexto de cidades inteligentes, pois podem atuar tanto na geração quanto utilização de dados.

Capítulo 4

Coletores de Dados Urbanos

Neste Capítulo serão observados os principais desafios hoje enfrentados pelo sensoriamento, em seguida, será demonstrada a importância da utilização dos coletores de dados como forma de sensoriamento urbano. Também serão demonstradas as arquiteturas a serem utilizadas nos experimentos conduzidos, bem como a demonstração de uma abordagem mais prática do uso dos sensores. Um esboço da solução proposta também é apresentado ao final do capítulo.

4.1 Desafios do Sensoriamento Tradicional

As cidades cumprem com um importante papel ao proporcionar abrigo, conforto e prover serviços aos cidadãos, porém o aumento populacional ocorrido nas mesmas ao longo do tempo gerou como resultado um impacto significativo em sua infraestrutura, no que diz respeito ao transporte, segurança, bem como a dificuldade por parte dos gestores públicos em monitorar a qualidade dos serviços prestados aos cidadãos [Martine et al. 2007].

Como uma forma de melhorar a capacidade de monitoramento de tais serviços, as cidades contam com a utilização de uma estratégia de sensoriamento tradicional que consiste do uso de um grande número de sensores estáticos posicionados estrategicamente com o objetivo de capturar dados importantes [Cenedese et al. 2014]. Como exemplo, pode-se citar o projeto *Padova Smart City*, implantado na cidade de Padova, Itália, onde por meio de sensores espalhados em uma vasta área metropolitana e em grande quantidade, dados são coletados e enviados a centrais de processamento para posteriormente serem transformados em informações nas quais os gestores públicos podem se basear para a tomada de decisões [Cenedese et al. 2014].

Nesse projeto, pode-se observar a estratégia de utilização em massa de sensores para a coleta de dados. Porém, o uso de tal estratégia resulta em grandes despesas para aquisição, implantação, energização, segurança e manutenção dos sensores em questão [Devarakonda et al. 2013]. Sendo assim, o sensoriamento tradicional apresenta grandes desafios e que fazem com que seja observada a possibilidade da utilização de uma

estratégia alternativa que vise minimizar o número de sensores utilizados e mesmo assim, realizar a coleta de dados em áreas ainda mais abrangentes [Costa et al. 2015].

4.2 Redes de Sensores Móveis

Por meio de uma *Redes de Sensores Móveis* é possível unir sensores responsáveis por realizar a coleta dos dados desejados a agentes que proporcionem mobilidade aos sensores, de forma que a coleta dos dados possa ser realizada em movimento, o que resulta no aumento significativo da área de atuação dos sensores estáticos tradicionais [Costa et al. 2015].

Desta forma, a estratégia baseada no uso de coletores de dados em ambiente urbano tem como objetivo a diminuição significativa no uso de sensores estáticos e que por meio do uso de agentes que proporcionem mobilidade, ponham em prática uma estratégia de coleta móvel de dados. Neste contexto, os agentes geradores de mobilidade podem ser os veículos bem como os cidadãos o que pode gerar uma convergência entre os conceitos de *Wireless Sensor Network* (WSN), Internet das Coisas (IoT) e *Mobile Ad Hoc Networks* (MANET) [Zanella et al. 2014] [Bellavista et al. 2013], uma vez que estas demonstram potencial para prover suporte ao sensoriamento urbano em larga escala.

De acordo com [Cranshaw 2013] e [Barone et al. 2014], por meio destas tecnologias, pode ser criado um cenário que proporcione o surgimento de plataformas para aplicações que venham a realizar análises de dados em tempo real, definidas pelos gestores públicos. No intuito de gerar um aumento no sensoriamento urbano, este estudo defende a utilização de uma abordagem mais prática. Para tanto, foram elaboradas estratégias que fossem tanto simples quanto ágeis.

4.2.1 Motivação

Com a miniaturização das tecnologias utilizadas em sistemas embarcados, estes se tornaram cada vez mais baratos, proporcionando o aumento da demanda por tecnologias que permitam o acompanhamento de informações que representem um interesse para os usuários [Ayaki et al. 2002]. Como exemplo destes conceitos e tecnologias pode-se citar a MANET, a qual se caracteriza como um modelo de rede de sensores mais popular [Pottie 1998] onde a comunicação existente ocorre entre os próprios nós de forma independente, o que permite o desenvolvimento de uma rede de baixo custo.

Porém, existem situações para as quais tal conceito não apresenta o resultado esperado. No caso da MANET isso ocorre no momento em que os nós encontram-se posicionados em uma área muito vasta de forma a não permitir a comunicação entre si [Pottie 1998]. Desta forma, fica evidente que o modelo de sensoriamento a ser aplicado vai depender do objetivo a ser atingido, onde para cada modelo existirá um conjunto de vantagens e desvantagens.

Sendo assim, de modo experimental, sob a forma de um estudo de caso para a utilização da estratégia de sensoriamento móvel e estímulo à instrumentação urbana, podem ser realizados testes que utilizem sensores posicionados no interior de veículos que proporcionem mobilidade, energização e segurança aos sensores. Para a realização destes testes podem ser utilizados sensores capazes de realizar a coleta ininterrupta de amostras de forma automática, por longos períodos de tempo, onde as amostras coletadas possam ser armazenadas no próprio equipamento para posterior análise.

4.2.2 Equipamentos Utilizados

Para que a coleta de dados em ambiente urbano possa ser posta em prática, faz-se necessária a utilização de tecnologias que permitam a realização da coleta e armazenamento de amostras de dados, bem como o uso de uma estratégia que permita que a realização das coletas possa ocorrer em uma vasta área metropolitana. Para tanto, inicialmente, fez-se necessário que pequenos experimentos fossem conduzidos com o objetivo de observar a viabilidade deste conceito comparando-o com sensores posicionados de fora fixa, de modo que os resultados obtidos pudessem motivar a continuação dos experimentos utilizando-se sensores unidos a agentes de mobilidade.

Neste estudo, para que as coletas fossem realizadas, sensores foram posicionados de forma estática, sob a forma de pequenos experimentos. Para isso, foi utilizada uma micro estação meteorológica fabricada pela *Acrobotics Industries* [Acrobotic 2014], a qual é parte de um kit de código aberto desenvolvido pela empresa *Fab Lab Barcelona*. O equipamento foi utilizado para proporcionar o monitoramento do ambiente de uma forma amigável [Fab Lab Barcelona 2014], conforme observado na Figura 2.

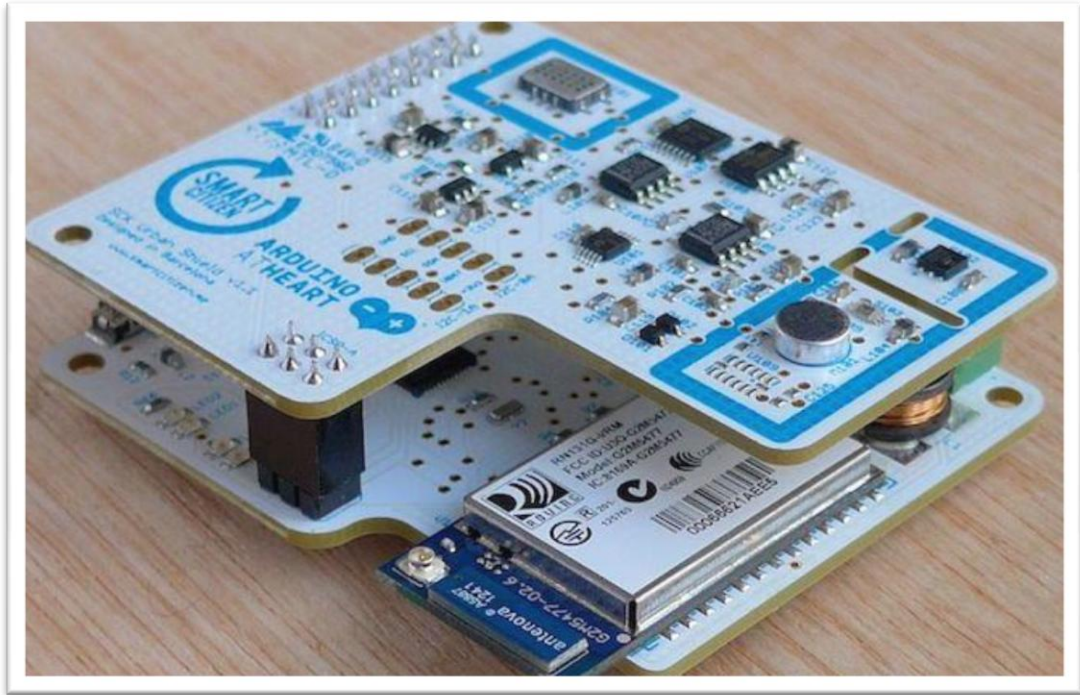


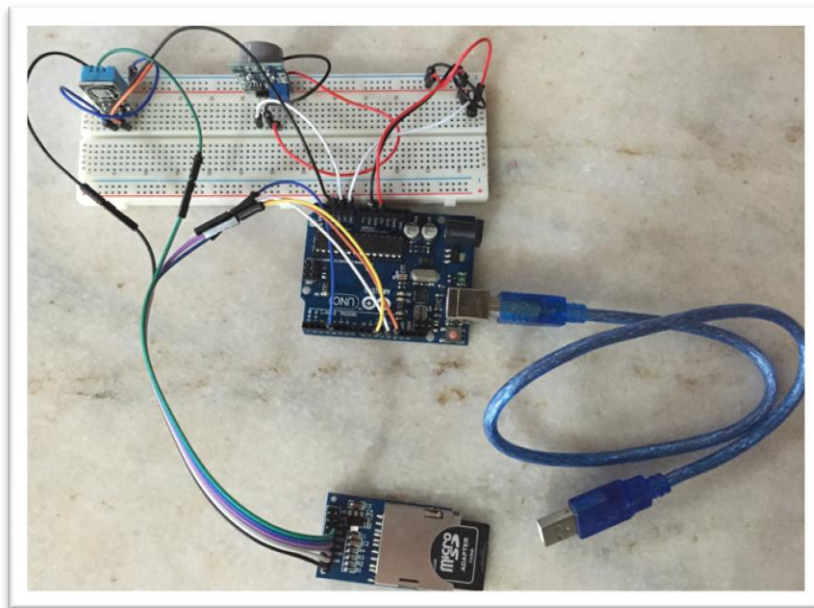
Figura 2: Imagem da micro estação meteorológica fabricada pela Acrobotics Industries
Fonte: Google.

O equipamento utilizado foi baseado na plataforma de prototipagem *open-source* Arduino, e consiste de duas placas de circuito impresso, onde uma delas é responsável pelo processamento e a outra placa contém todos os sensores embutidos. Este equipamento é conhecido como “*Ambient Board*”, pois como o nome sugere, ele possui uma série de sensores capazes de medir características ambientais tais como temperatura, umidade, composição do ar (CO e NO₂), intensidade da luz e nível de ruído.

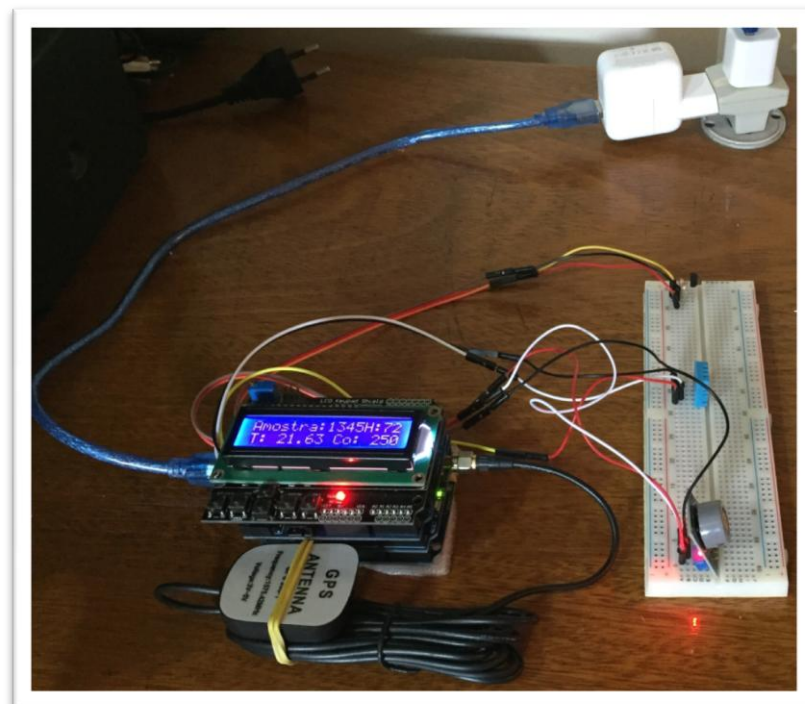
Tendo em vista os resultados positivos obtidos por meio de coletas estáticas realizadas pelo equipamento demonstrado na Figura 2, outros experimentos foram posteriormente conduzidos utilizando a estratégia de uso de sensores estáticos unidos à agentes de mobilidade.

Inicialmente, pretendia-se utilizar a micro estação meteorológica fabricada pela *Acrobotics Industries* como único equipamento a ser utilizado em todos os experimentos, uma vez que as informações disponibilizadas pelo site da empresa em questão afirmavam que apenas com esta unidade as amostras dos dados poderiam ser coletadas e geolocalizadas. Posteriormente, esta funcionalidade se demonstrou ineficaz para os experimentos realizados com sensores utilizados de forma móvel. Como uma forma de superar esta deficiência e proporcionar a continuidade dos experimentos, dois outros equipamentos foram montados e configurados de forma a coletar amostras das grandezas

temperatura, umidade e monóxido de carbono e proporcionar a geolocalização das mesmas. Os equipamentos podem ser visualizados na Figura 3.



3a



3b

Figura 3: Micro estações meteorológicas montadas e configuradas para a realização da coleta de amostras com sensores estacionários e móveis, respectivamente.

O equipamento visualizado na 3a foi montado e configurado com o propósito de se comportar como um nó estático e que a cada minuto realiza a coleta de amostras das grandezas em questão. Na Figura 3b, pode-se visualizar o segundo equipamento que também foi montado e configurado possuindo, dentre outras características, a capacidade de gerar a geolocalização das amostras coletadas, comportando-se como um nó móvel.

Sendo assim, foi possível observar se na realização da coleta móvel, a utilização de leituras menos frequentes seria uma estratégia viável no contexto do sensoriamento urbano, quando utilizadas diferentes estratégia de agregação dos dados. A utilização de dois equipamentos foi necessária para que se pudesse comparar os dados coletados por ambos os equipamentos, durante a realização dos experimentos, simultaneamente.

4.3 Uma Abordagem Pragmática: Sensores Fixos com Agentes de Mobilidade

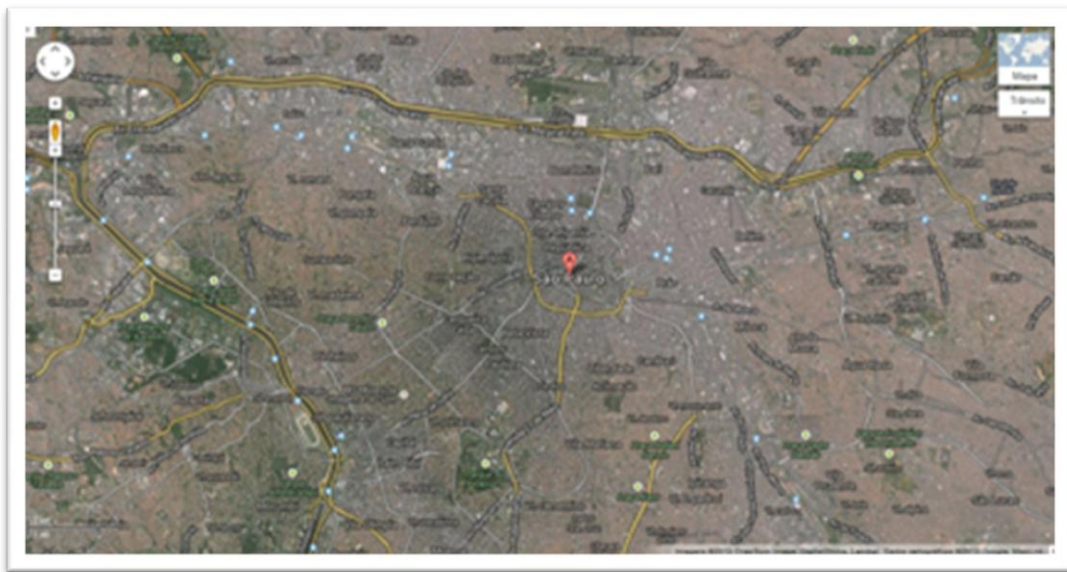
Conforme observado, a aplicação de uma estratégia de sensoriamento urbano que se baseia na ideia da utilização de uma grande quantidade de sensores estáticos para cobrir uma vasta área é mais complexa e custosa fazendo-se necessário a utilização de uma nova abordagem. Para tanto, observa-se se a estratégia de utilizar sensores unidos a um agente que lhes proporcione mobilidade seria válida. Como agente de mobilidade, o ônibus transforma-se em forte candidato para a realização dos testes de sensoriamento móvel, pois estes possuem um trajeto fixo onde as rotas são percorridas em intervalos de tempo pré-estabelecido o que acaba por gerar um ambiente mais propício à coleta dos dados em questão, bem como uma coleta que abrange grandes áreas metropolitanas.

Para demonstrar a importância e abrangência deste meio de transporte, pode-se citar como exemplo a cidade de São Paulo, que possui aproximadamente 4.330 km de estradas que são percorridas pelos ônibus municipais. Tal número chega a representar aproximadamente 25% da malha viária da cidade e de acordo com [Monteiro 2014], no mês de setembro de 2014, estima-se que a quantidade de ônibus em circulação na cidade chegava a 14.800.

Em comparação com a cidade de São Paulo, a cidade de João Pessoa, localizada no nordeste brasileiro, possui proporções e números mais modestos. Seu território é cortado por 90 linhas convencionais as quais, de acordo com [Prefeitura Municipal de João Pessoa 2014] possuía em circulação em 2013 aproximadamente 460 ônibus. Em comparação com as abordagens tidas como tradicionais, acredita-se que para ambos os casos, a ideia

proposta possui potencial de viabilizar uma instrumentação inicial com uma redução na quantidade de sensores utilizados para este fim.

Como forma de demonstrar a importância e a abrangência da malha de transporte público urbano, conforme citado anteriormente, por meio da Figura 4a, pode-se observar a imagem gerada por satélite do centro de São Paulo, considerada como a maior cidade brasileira e na Figura 4b, em cor azul é indicada a abrangência da área de cobertura do transporte público metropolitano, neste caso, representado pelos ônibus. Tais linhas equivalem a regiões onde a coleta dos dados pode ser realizada.



4a



4b

Figura 4: Visões de satélite do centro da cidade de São Paulo com indicação das ruas com circulação de ônibus (em azul) Fonte: Google Maps.

Neste estudo, será utilizado o termo *Coletor de Dados Urbanos*, como o resultado da utilização de sensores unidos a agentes que proporcionem mobilidade aos mesmos, por meio de uma rota preestabelecida. Como agente gerador de mobilidade, tem-se o ônibus como forte candidato. Como uma forma de simular a utilização de uma rede de sensores sem fio (WSN), acreditamos ser possível utilizar os terminais de integração entre as linhas de forma a posicionar os nós responsáveis pela coleta dos dados capturados pelos sensores presentes nos ônibus, durante a realização de seu percurso habitual. Pode-se também imaginar a utilização de *Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões* (do inglês Delay Tolerant Networking ou DTN) como outra estratégia a ser utilizada, porém esta também pode ser substituída por uma estratégia de entrega em tempo real, caso necessário.

A quantidade de dados que podem ser coletados em uma cidade é muito grande. Estes também podem ser monitorados, bem como direcionadas a repositórios de dados abertos. Os sensores a serem utilizados para a captura destes dados podem abranger o uso de GPS, microfone, giroscópio, acelerômetro, detector de gás carbônico, temperatura, umidade e luminosidade, dentre outros. Neste contexto, pode-se utilizar o ônibus como um meio de proporcionar um ambiente de maior segurança e por diminuir a complexidade na estratégia de implantação, geração de energia e manutenção do equipamento.

Como uma forma de criar parcerias e as mobilizar no sentido de dinamizar a utilização dos sensores de forma móvel, pode-se observar como estratégia viável o desenvolvimento de aplicações que venham a atender algumas das necessidades detectadas nos modelos de negócio dos parceiros em potencial, o que irá necessariamente despertar o seu interesse. Sendo assim, por meio de novas iniciativas, torna-se possível a implantação do conceito de cidades inteligentes.

Desta forma, visando proporcionar suporte às possíveis plataformas tecnológicas que possam ser desenvolvidas, estima-se que a realização de um experimento mais prático possa ser de maior contribuição para a evolução no que concerne o conceito de cidades inteligentes. Atualmente, pode-se observar o desenvolvimento de alguns projetos pilotos baseados em nossa proposta sendo desenvolvidos pelas prefeituras de Recife e Palmeira dos Índios, no Brasil. Mais adiante, será demonstrado como foi projetado e realizado um experimento que visa investigar a viabilidade de instrumentação baseada em amostragens esporádicas.

4.4 Esboço da Solução

Como forma de demonstrar a viabilidade da metodologia adotada neste estudo, pequenos experimentos foram conduzidos para que ao final, fosse possível realizar a comparação dos resultados obtidos. Os experimentos foram divididos em duas etapas, onde a primeira etapa consiste da coleta de amostras por meio do uso de sensores posicionados de forma estática e a segunda etapa consiste da coleta de amostras com a utilização de sensores móveis e geolocalizados. Na primeira etapa, amostras de grandezas ambientais foram capturadas por sensores para que posteriormente, com o uso de gráficos, pudessem ser analisadas de modo a se observar a possível dispersão apresentada pelos dados em se utilizando intervalos de coleta mais esparsos.

Na segunda etapa, objetiva-se a realização da coleta de dados por meio de sensores unidos a um agente que proporcione mobilidade e que forneça aos sensores a energia necessária para seu funcionamento, bem como segurança e proteção contra agentes externos que venham a interferir na captação dos dados ou que interfiram nos sensores utilizados durante a realização dos experimentos. Uma vez realizada a coleta das amostras em intervalos mais esparsos, estas deverão ser filtradas e analisadas de forma a gerar gráficos que demonstrem a variação percentual média, processo também realizado na primeira fase do estudo. Posteriormente a realização da coleta dos dados, dever-se-á comparar os resultados obtidos entre a coleta de dados realizada por meio de sensores estáticos e por sensores associados agentes de mobilidade.

Por meio da comparação dos resultados obtidos ao se utilizar sensores estáticos e móveis, poderá se identificar a possível existência de uma variação e caso esta exista, o quanto significativa seria, pois uma vez se comprovando a não existência de uma variação significativa, fica evidente que o uso de sensores unidos a um agente de mobilidade pode ser visto como uma alternativa viável para a coleta de dados, por meio de sensores, em vastas áreas metropolitanas. Com o uso desta estratégia, seria possível realizar a coleta de dados em um amplo perímetro urbanos, com uma pequena quantidade de sensores e obtendo a minimização de custos.

Capítulo 5

Avaliação Experimental

Nesse Capítulo serão detalhados os experimentos realizados e que visam demonstrar a viabilidade da utilização de sensores unidos a agentes que lhes proporcionem mobilidade, como estratégia de sensoriamento móvel em ambiente urbano. Inicialmente, será apresentada a metodologia de coleta utilizando os sensores posicionados de forma estática. Posteriormente, será apresentada a metodologia proposta que irá indicar se para as métricas utilizadas, serão produzidos resultados satisfatórios. Em seguida, o experimento será repetido para a conferência de alguns dos valores apresentados para dois dos sensores, de forma a observar se com a mudança do ambiente de coleta de dados os valores das amostras coletadas irão permanecer dentro do intervalo de confiança, o qual estabelecerá um limite a partir do qual possa ser estipulado o sucesso ou fracasso para o experimento em questão. Ao final, o processo será repetido para a coleta utilizando o sensor configurado para a realização das coletas móveis.

5.1 Coleta Estática - Avaliação Experimental

É comum observar em algumas estratégias que abordam a temática do sensoriamento urbano, a existência da preocupação com a quantidade de dados coletados. Porém isto não representa obstáculo para a abordagem utilizada, tendo em vista que algumas estratégias podem ser adotadas no sentido de contornar esta preocupação como, por exemplo, a passagem mais frequente pelos pontos de coleta, do equipamento responsável pelo armazenamento dos dados coletados, ou também o envio dos dados coletados ao seu destino em tempo real.

Desejamos observar se aplicando a estratégia de utilizar agentes que proporcionem mobilidade para auxiliar a coleta dos dados por sensores diversos, poderá ser obtido um conjunto mínimo de amostras que seja capaz de motivar o desenvolvimento de aplicações. Por meio da estratégia adotada neste estudo, mesmo para o sensoriamento abrangendo uma vasta área metropolitana, teríamos a vantagem de não fazer uso de uma grande quantidade de sensores e como consequência, reduzir o volume de dados gerados para posterior análise.

Desta forma, um dos objetivos que desejamos alcançar neste estudo é o de investigar a possível existência de uma significativa perda na precisão das medições a partir de coletas de leituras realizadas em intervalos de tempo mais esparsos, o que poderia inviabilizar a nossa proposta.

Como uma forma de avaliar nossa proposta do uso de sensores posicionados de forma estática, um pequeno experimento foi planejado e executado. Para verificar a precisão com a qual os sensores realizam a coleta dos dados referentes a grandezas físicas ambientais, ao mesmo tempo em que o intervalo de tempo entre as coletas fosse aumentado.

5.2 Metodologia

Medições em intervalos regulares das grandezas físicas citadas anteriormente foram realizadas usando-se uma micro estação meteorológica. Enquanto as coletas eram realizadas, o equipamento foi posicionado de forma estacionária, em um ambiente aberto e que proporcionava certo nível de proteção contra possíveis interferências externas que pudessem gerar falha durante a coleta das amostras. Quanto à quantidade de coletas realizadas pelo equipamento, o mesmo realiza o máximo de uma medição a cada minuto.

Uma vez que foi realizada a coleta dos dados por meio da micro estação meteorológica, estes foram recuperados e posteriormente classificados levando-se em consideração as grandezas físicas respectivas e posteriormente, para cada uma delas, foram geradas as médias para cada hora do dia. De forma a simular um conjunto de amostra de dados, para o cálculo das médias, foi utilizado o agrupamento dos dados em quatro grupos, conforme descrito abaixo.

- $\overline{1M}$: Coletas a cada minuto;
- $\overline{5M}$: Coletas a cada cinco minutos;
- $\overline{10M}$: Coletas a cada dez minutos;
- $\overline{30M}$: Coletas a cada trinta minutos.

Uma vez que o conjunto $\overline{1M}$ acumula a maior quantidade de dados por hora, ele foi considerado como referência para os demais conjuntos. Desta forma, foi calculada a variação deste conjunto em comparação com os demais conjuntos $\overline{5M}$, $\overline{10M}$ e $\overline{30M}$ para cada hora e cada grandeza.

5.2.1. Variáveis Independentes

Tem-se como variáveis independente, todas as grandezas físicas cujas amostras foram coletadas pelos sensores em questão. Estas encontram-se descritas abaixo:

- **Temperatura (T):** É uma medida numérica de calor e frio. Sua medição é realizada por detecção de radiação térmica. Ela é expressa em graus e pode ser calibrada em várias escalas diferentes, como Celsius (°C), Fahrenheit (°F), Kelvin (°K).
- **Umidade Relativa do Ar (RH):** É uma relação expressa em porcentagem, da quantidade de umidade atmosférica presente em relação à quantidade que estaria presente se o ar estivesse saturado.
- **Monóxido de Carbono (CM):** É um gás que possui a fórmula química CO. Quando sua concentração atinge níveis altos, torna-se tóxico para os seres humanos e animais. A sua concentração no ar é medida em partes por milhão (ppm).
- **Dióxido de Nitrogênio (ND):** É um composto químico com a fórmula química NO₂, quando em excesso, pode causar problemas respiratórios e queda no desempenho do sistema imunológico. A sua concentração também é medida em partes por milhão (ppm).
- **Nível de Luminosidade ou Luz Ambiente (AL):** Representa o fluxo luminoso total incidente em uma superfície por unidade de área. Esta grandeza física é expressa em lux (lx).
- **Nível de Ruído ou Som Ambiente (AS):** O som é uma vibração que se propaga como uma onda mecânica de pressão e de deslocamento. O nível de ruído é medido em decibéis (db).

5.2.2 Métricas Utilizadas

Entende-se por métricas de interesse as estratégias que serão utilizadas para que sejam determinadas quais serão as leituras consideradas ou descartadas para a realização do cálculo das médias de cada uma das grandezas físicas em determinada data e hora. Cabe também às métricas, identificar a possível variação das médias obtidas em comparação com as demais estratégias utilizadas. Para tanto, foram utilizadas três métricas.

Com relação às amostras, observa-se que a cada hora podem ser coletadas até sessenta amostras. O conjunto de amostras a serem utilizadas irá depender da métrica que se deseja

aplicar, por exemplo, no caso da média $\overline{1M}$, durante uma hora de coleta, serão consideradas todas as sessenta amostras. A média $\overline{5M}$, por sua vez, usa apenas 12 amostras, a média $\overline{10M}$ usa apenas 6 amostras e a média $\overline{30M}$ é calculada usando apenas duas amostras.

A seguir, serão descritas as três métricas de interesse utilizadas para a grandeza física

Temperatura:

- **Varição Percentual das Médias $\overline{5M}$ e $\overline{1M}$ da Temperatura** ($T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{5M}}$): Essa métrica representa o quanto a média $\overline{5M}$ da temperatura coletada no dia d e hora h mudou em relação a média $\overline{1M}$ da temperatura para a mesma data e hora. $T(d, h, m)$ é uma função que retorna a medição da temperatura para o dia d , hora h e minuto m e $mod(x, y)$ é uma função que retorna o resto da divisão de x por y .

$$T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{5M}} = \left(\frac{(\overline{5M}_T(d, h) - \overline{1M}_T(d, h))}{\overline{1M}_T(d, h)} \right)$$

onde:

$$\overline{1M}_T(d, h) = \frac{\sum_{\forall m \in N, 0 \leq m < 60} T(d, h, m)}{60}$$

$$\overline{5M}_T(d, h) = \frac{\sum_{\forall m \in N, 0 \leq m < 60, mod(m, 5) = 0} T(d, h, m)}{12}$$

- **Varição Percentual das Médias $\overline{10M}$ e $\overline{1M}$ da Temperatura** ($T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{10M}}$): Essa métrica representa o quanto a média $\overline{10M}$ da temperatura coletada no dia d e hora h mudou em relação a média $\overline{1M}$ da temperatura para a mesma data e hora. $T(d, h, m)$ e $\overline{1M}_T(d, h, m)$ representam as funções conforme descritas anteriormente.

$$T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{10M}} = \left(\frac{(\overline{10M}_T(d, h) - \overline{1M}_T(d, h))}{\overline{1M}_T(d, h)} \right)$$

onde:

$$\overline{10M}_T(d, h) = \frac{\sum_{\forall m \in [0, 10, 20, 30, 40, 50]} T(d, h, m)}{6}$$

- **Variação Percentual das Médias $\overline{30M}$ e $\overline{1M}$ da Temperatura** ($T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{30M}}$): Essa métrica representa o quanto a média $\overline{30M}$ da temperatura coletada no dia d e hora h mudou em relação a média $\overline{1M}$ da temperatura para a mesma data e hora. $T(d, h, m)$ e $\overline{1M_T}(d, h, m)$ representam as funções conforme descritas anteriormente.

$$T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{30M}} = \left(\frac{(\overline{30M_T}(d, h) - \overline{1M_T}(d, h))}{\overline{1M_T}(d, h)} \right)$$

onde:

$$\overline{30M_T}(d, h) = \frac{\sum_{\forall m \in \{0,30\}} T(d, h, m)}{2}$$

As demais grandezas físicas também tiveram as suas métricas calculadas por meio das mesmas fórmulas observadas anteriormente.

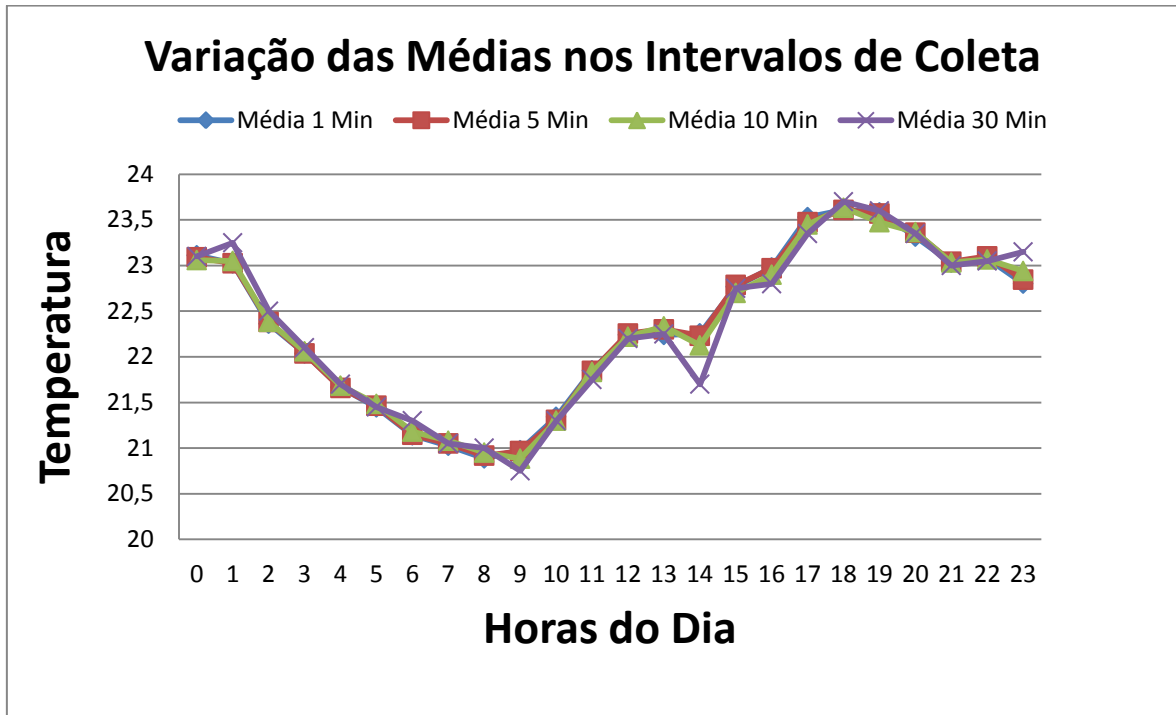
5.3 Resultados Obtidos

Com a utilização de uma micro estação meteorológica, nos meses de Junho e Julho de 2014, foram coletados dados na cidade de João Pessoa, Paraíba, obtendo-se aproximadamente 100 mil amostras individuais. Para que amostras fossem coletadas com sensores móveis, foi utilizado um veículo que percorreu o ambiente urbano, já as amostras que foram coletadas por sensores posicionados estaticamente, foram possíveis por meio de uma micro estação meteorológica que funcionou 24 horas, ininterruptamente, por 60 dias.

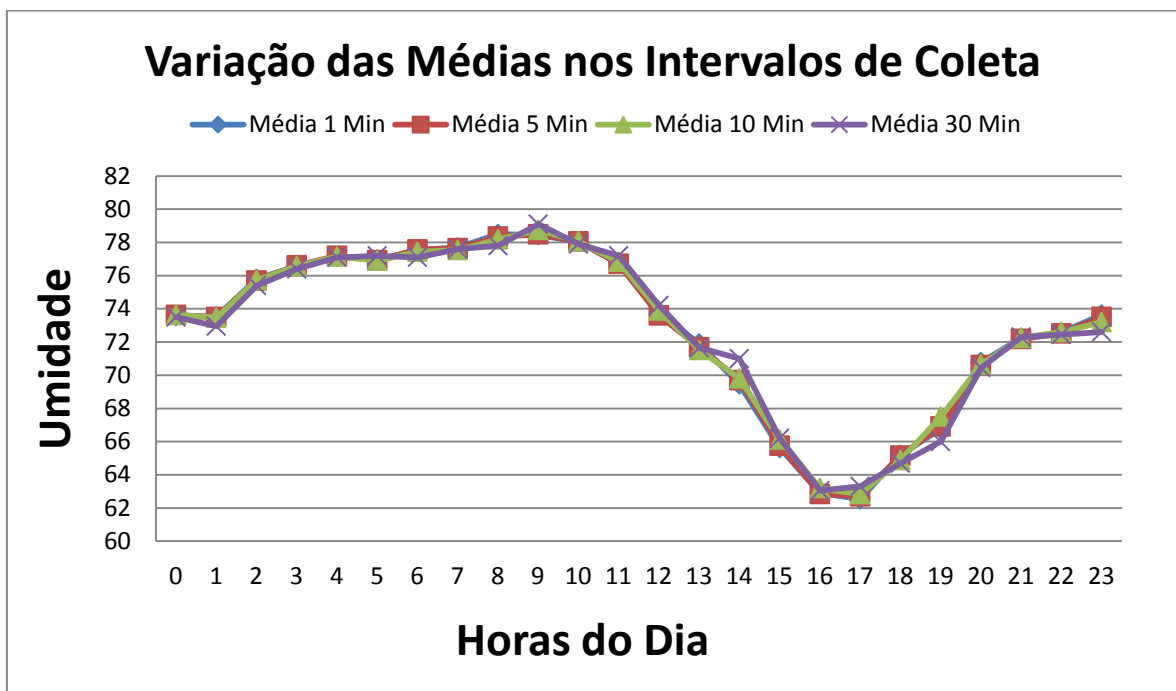
Os resultados da amostragem das grandezas físicas estudadas encontram-se apresentados a seguir sob a forma de gráficos e tabelas. Nos gráficos que compõem a Figura 5, podemos visualizar os resultados obtidos com a utilização das métricas descritas anteriormente. Para permitir uma melhor visualização do comportamento apresentado pelas amostras coletadas para algumas das grandezas destacadas, cada média gerada foi representada separadamente nos gráficos, levando-se em consideração cada uma das métricas citadas anteriormente.

Inicialmente, de forma a possibilitar o entendimento quanto ao comportamento apresentado por cada uma das grandezas estudadas, gráficos contendo os valores referentes às médias para os intervalos de coleta de 1, 5, 10 e 30 minutos foram gerados. Estes gráficos representam os dados coletados em apenas um dia de coleta específico. Posteriormente, foram geradas tabelas e gráficos equivalentes ao período total de coleta

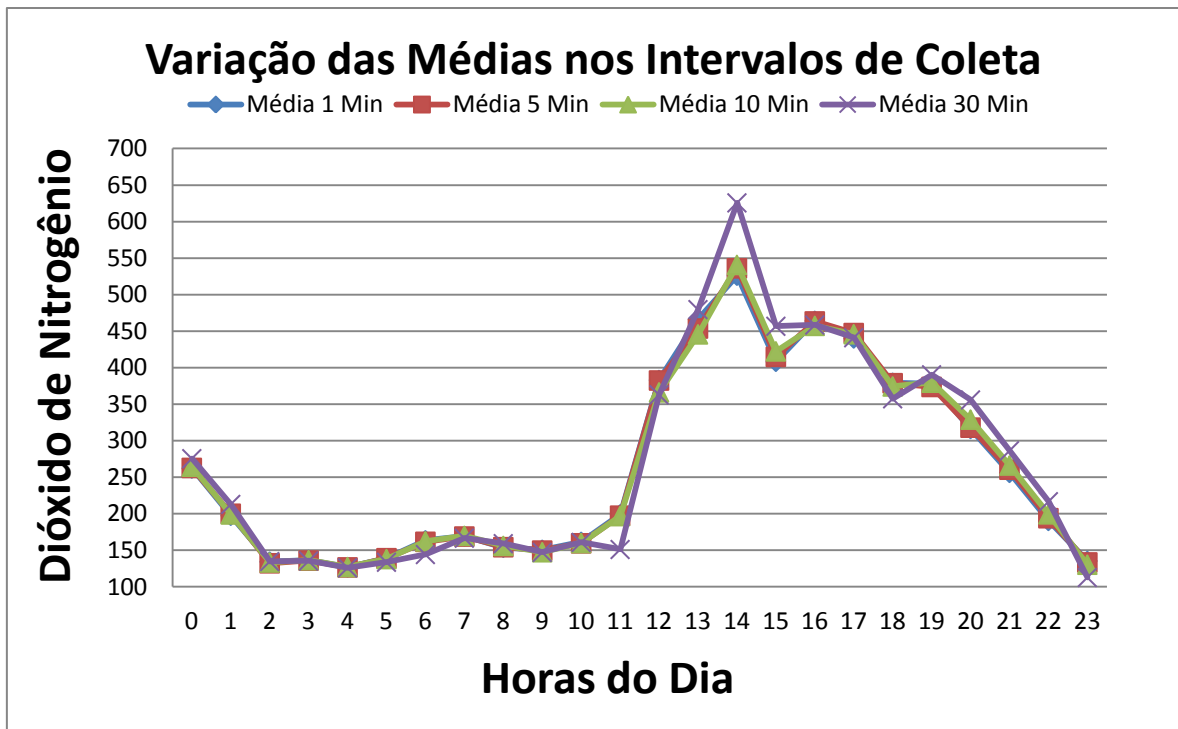
que abrangeu um período de dois meses . No que diz respeito às grandezas temperatura, umidade e dióxido de nitrogênio, não foi observada a existência de uma variação significativa das médias obtidas o que pode ser visualizado através dos gráficos apresentados nas Figuras 5a, 5b e 5c.



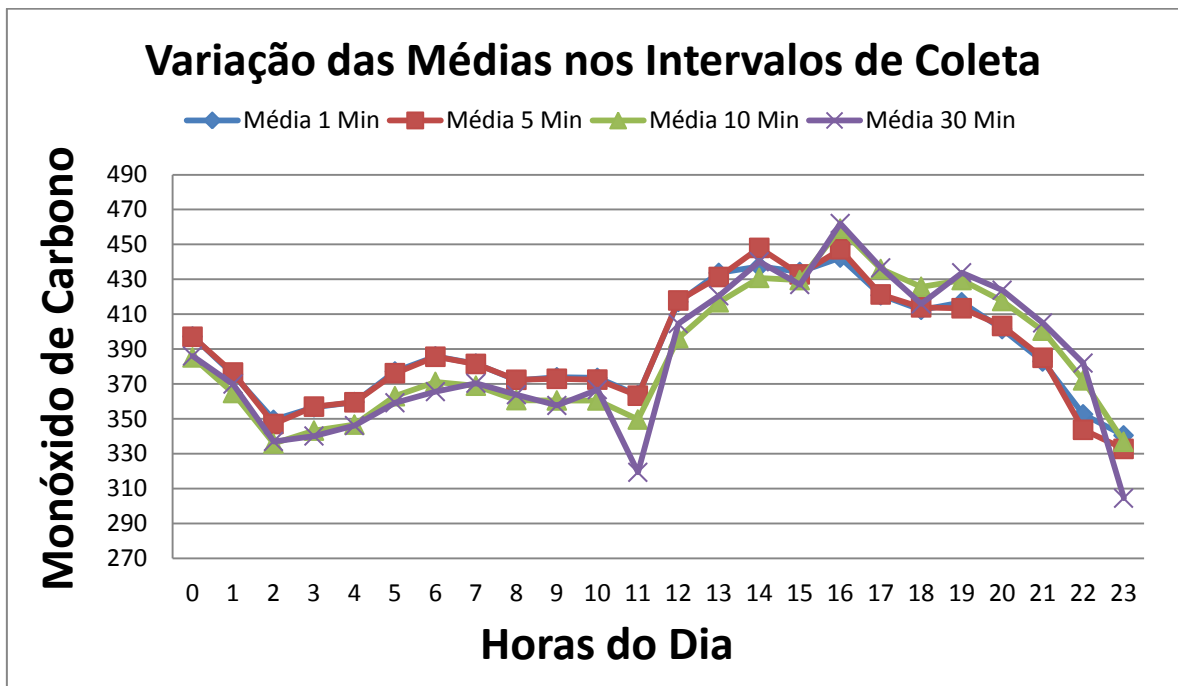
5a



5b



5c



5d

Figura 5: Médias horárias da temperatura (a), umidade (b), do dióxido de nitrogênio (c) e do monóxido de carbono (d) de um dado dia apuradas com diferentes intervalos de coleta.

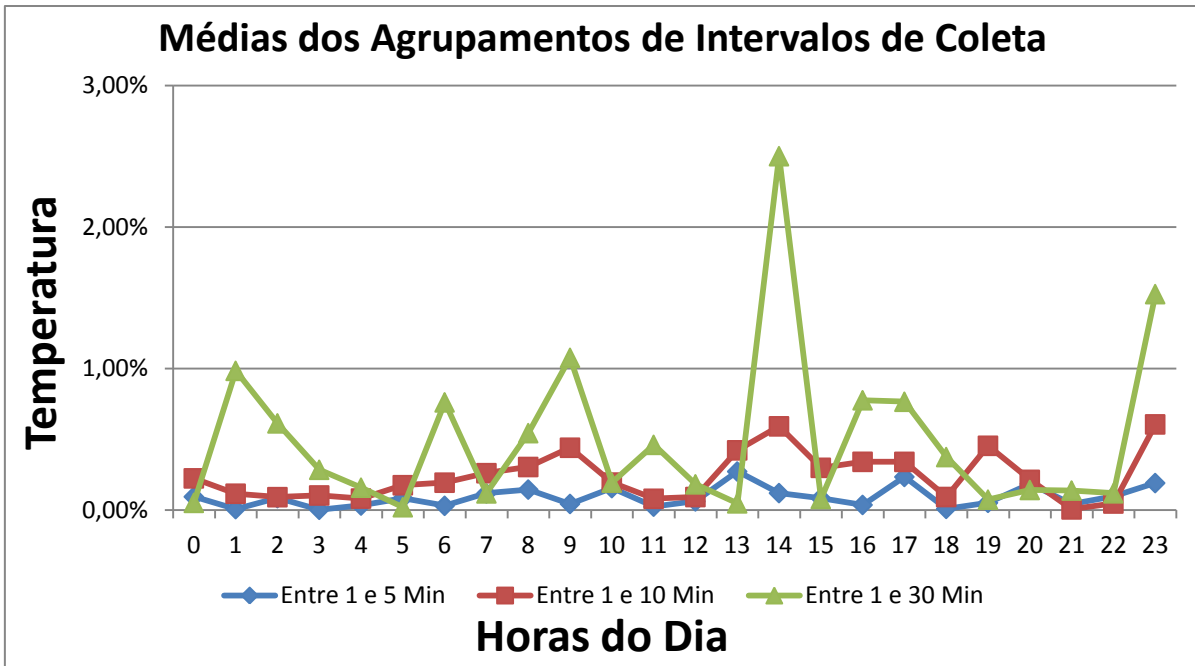
Através da Figura 5d, pode ser observada maior variação existente na grandeza monóxido de carbono. Esta é mais visível através da média $\overline{30M}$. Também pode ser observado, que mesmo esta grandeza apresentando uma variação mais elevada para a média $\overline{30M}$, a curva que demonstra o comportamento da mesma manteve-se em uma constante.

Por sua vez, a Figura 6 demonstra, por meio das métricas descritas anteriormente, os gráficos que apontam as possíveis divergências resultantes da comparação entre as médias geradas pelos diversos agrupamentos de intervalos de coleta.

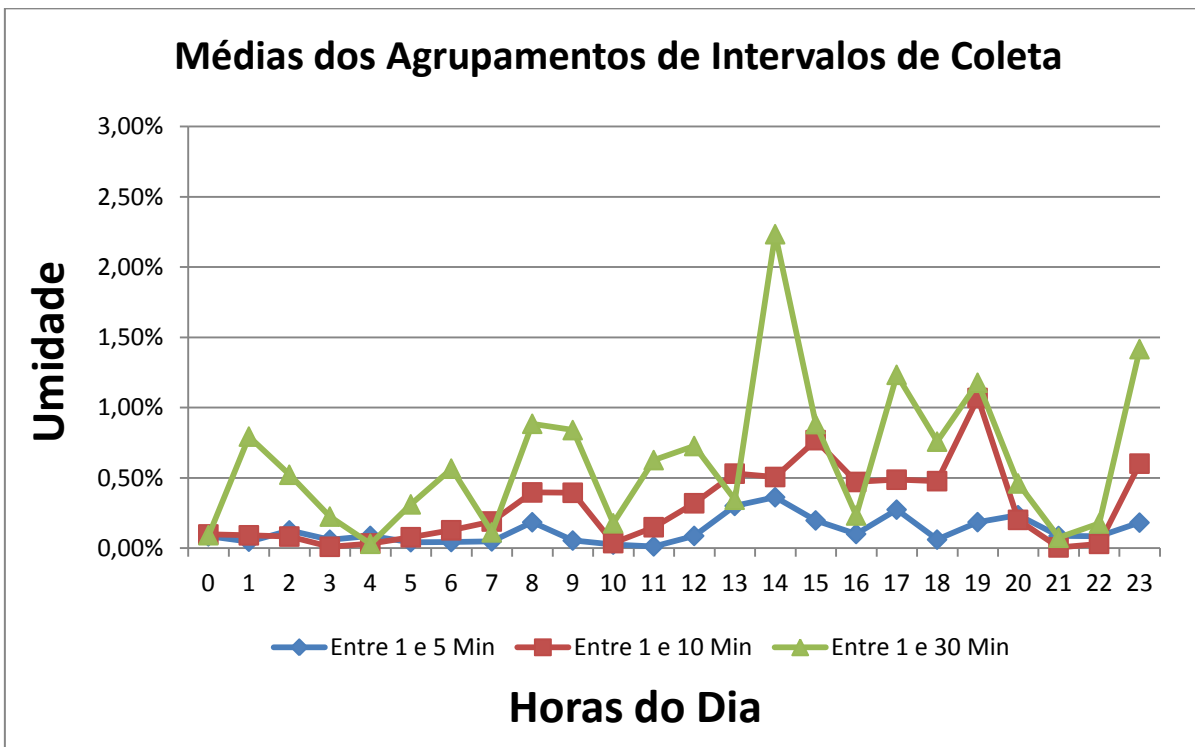
A grandeza temperatura é representada na Figura 6a pelas métricas $T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{5M}}$, $T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{10M}}$ e $T(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{30M}}$, enquanto na Figura 6b, a umidade é representada pela métrica $RH(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{5M}}$, $RH(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{10M}}$ e $RH(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{30M}}$. As métricas para o monóxido de carbono, $CM(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{5M}}$, $CM(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{10M}}$ e $CM(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{30M}}$, e dióxido de nitrogênio, $ND(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{5M}}$, $ND(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{10M}}$ e $ND(d, h)_{\overline{1M}}^{\overline{30M}}$, são exibidas nas Figuras 6c e 6d, respectivamente.

Para o mesmo dia de coleta considerado na geração dos gráficos da Figura 6, as grandezas temperatura, umidade, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio tiveram os gráficos das médias $\overline{5M}$, $\overline{10M}$ e $\overline{30M}$ gerados, em comparação com a média $\overline{1M}$, para a observação da possível perda de precisão das amostras coletadas.

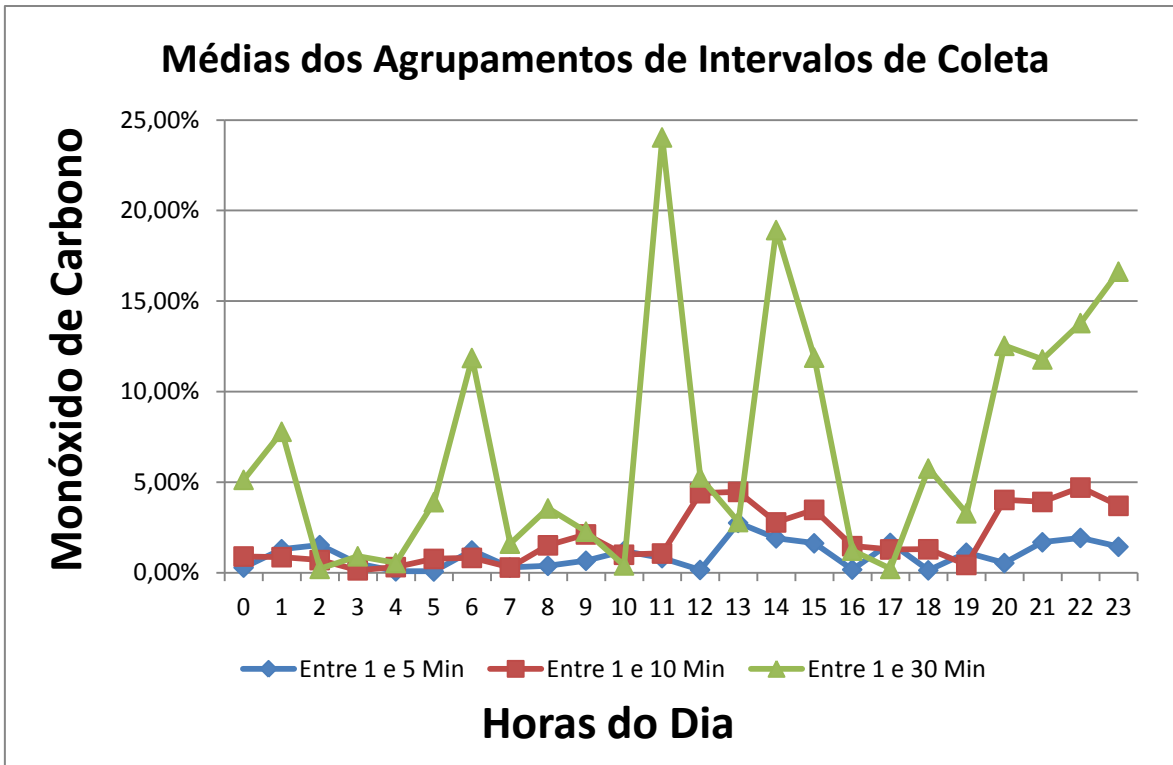
Como resultado, podemos observar uma pequena variação para as médias em questão, onde foram detectadas perdas na precisão que variaram entre o valor mínimo de 1% até valor máximo de 5%, para algumas das grandezas. O aumento da variação das médias foi observado na média $\overline{10M}$. Na média $\overline{30M}$, foi observado o mesmo comportamento para as grandezas temperatura e umidade. Porém, foram detectadas elevações nas variações das grandezas monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio que chegaram a 10% para o NO₂ e 25% no caso do CO.



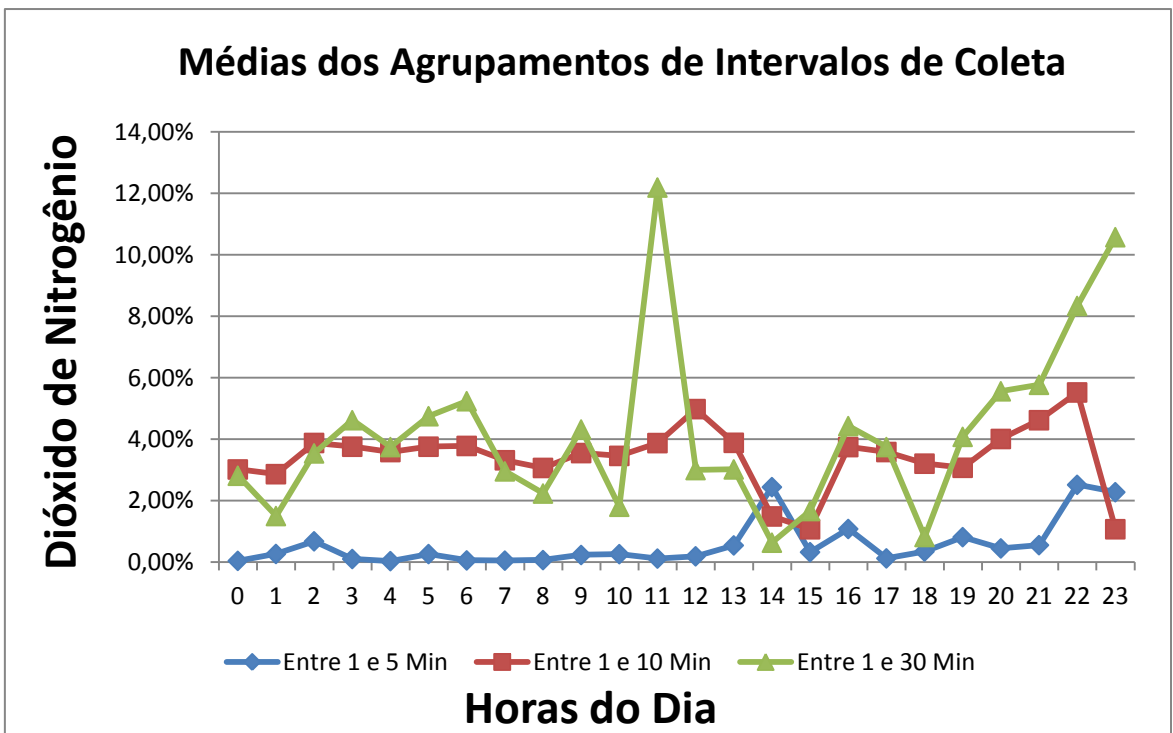
6a



6b



6c



6d

Figura 6: Variação percentual das médias horárias com diferentes frequências de coleta, coletadas em um dia específico, em relação à média obtida com as amostras coletadas a cada minuto.

De forma a gerar uma representação mais fiel dos resultados obtidos por meio das coletas realizadas, na Tabela 1, podemos observar o comportamento das variações das métricas de interesse de todas as grandezas físicas consideradas durante todo o período de coleta. Por meio desta, podemos visualizar o intervalo de confiança, bem como observar a variação percentual média total de todas as métricas durante o período total de coleta, com nível de confiança de 95%.

Tabela 1: Variação Percentual Média das métricas de interesse no período de observação

Grandeza Física	Métrica	Variação Percentual Média	Intervalo de Confiança (IC)
Temperatura	$T(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	0.22%	± 0.0011123
	$T(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	0.34%	± 0.0011931
	$T(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	0.59%	± 0.0018738
Umidade Relativa do Ar	$RH(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	0.18%	± 0.00073321
	$RH(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	0.29%	± 0.0008929
	$RH(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	0.64%	± 0.0023285
Monóxido de Carbono	$CM(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	0.73%	± 0.0023856
	$CM(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	2.44%	± 0.0048109
	$CM(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	3.18%	± 0.0077047
Dióxido de Nitrogênio	$ND(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	2.58%	± 0.0180435
	$ND(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	3.88%	± 0.0205051
	$ND(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	7.97%	± 0.0255651
Nível de Ruído	$AN(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	1.42%	± 0.0045797
	$AN(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	2.38%	± 0.0070871
	$AN(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	3.94%	± 0.0165981
Nível de Luminosidade	$AL(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	4.02%	± 0.0278655
	$AL(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	6.05%	± 0.0342902
	$AL(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	13.47%	± 0.0468787

Observando-se as grandezas temperatura e umidade relativa, percebe-se que a variação existente entre as estratégias de agrupamento é muito pequena, ficando em um patamar abaixo de 1%. Já para as grandezas monóxido de carbono e nível de ruído, observa-se uma pequena elevação na variação entre as estratégias de agrupamento, chegando ao máximo de 4%. O mesmo resultado é observado nas médias $\overline{5M}$ e $\overline{10M}$ do dióxido de nitrogênio e para a média $\overline{5M}$ do nível de luminosidade.

Pode-se observar, ainda na Figura 7, a geração da variação percentual média total para cada grandeza estudada. Por meio desta figura, observa-se que foi gerada uma diferença mais elevada de 6,05% para a média $\overline{10M}$ e 13,47% para a média $\overline{30M}$ referentes à grandeza nível de luminosidade. Ainda na média $\overline{30M}$, desta vez para a grandeza dióxido de nitrogênio, houve uma variação de 7,97%.

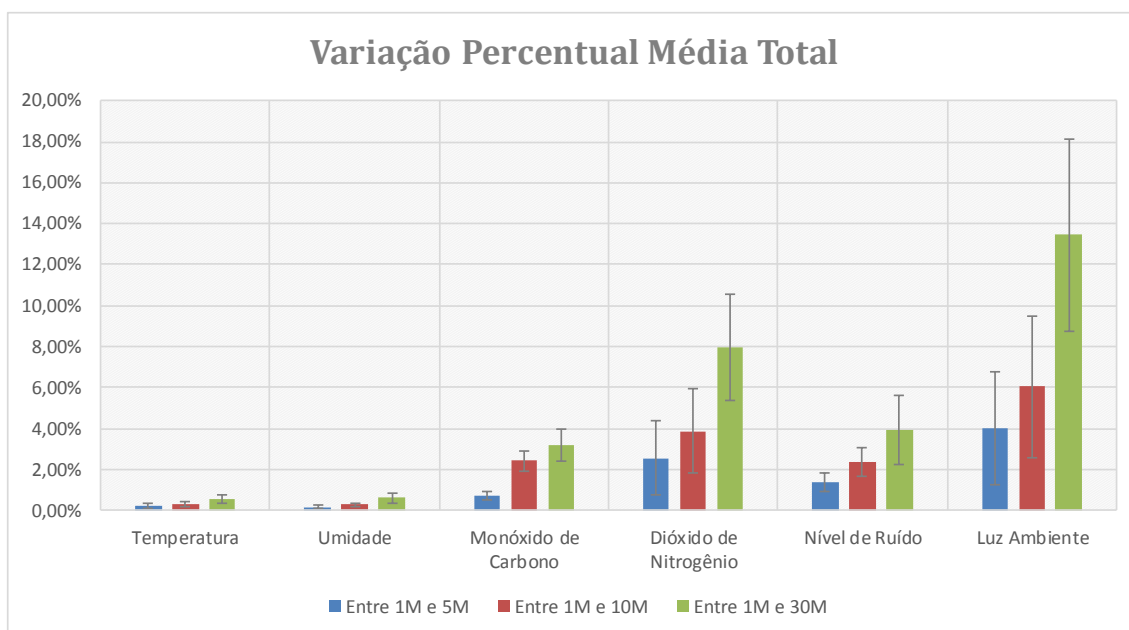


Figura 7: Variação percentual média total das métricas de interesse.

Levando em conta o uso de um sensor que pode realizar até 60 leituras por hora e utilizando a estratégia de agrupamento $\overline{30M}$, é possível coletar dados de uma vasta área com um mesmo equipamento, quando em movimento, sem perda expressiva de precisão. Unindo isto aos bons resultados observados na Figura 7, entendemos haver motivação suficiente para continuação da investigação esta abordagem.

5.4 Repetição de Experimento

Uma vez que as grandezas dióxido de nitrogênio e nível de luminosidade apresentaram maior variação para as médias $\overline{10M}$ e $\overline{30M}$, foram realizados testes para tentar identificar o que poderia estar afetando a coleta das mesmas. O equipamento foi posicionado de forma estacionária em outro ambiente gerando energização e maior proteção ao equipamento. As amostras foram coletadas por um período de uma semana,

onde foram realizadas coletas das duas grandezas em questão, considerando-se os mesmos intervalos.

Tabela 2: Variação Percentual Média das métricas de interesse no período de observação

Grandeza Física	Métrica	Variação Percentual Média	Intervalo de Confiança (IC)
Dióxido de Nitrogênio	$T(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	1,58%	$\pm 0,0079$
	$T(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	2,74%	$\pm 0,0135$
	$T(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	4,17%	$\pm 0,0216$
Nível de Luminosidade	$RH(d, h)_{\frac{5M}{1M}}$	0,45%	$\pm 0,0034$
	$RH(d, h)_{\frac{10M}{1M}}$	0,55%	$\pm 0,0037$
	$RH(d, h)_{\frac{30M}{1M}}$	1,12%	$\pm 0,0038$

Tendo sido realizada a análise dos dados, foi observado que as grandezas em questão apresentaram valores que respeitaram o intervalo de confiança de 95% previamente estabelecido. Mesmo para a média $\overline{30M}$, os valores se mantiveram dentro do intervalo esperado.

Uma vez que tanto o equipamento em questão quanto as configurações referentes aos sensores são idênticas, acreditamos que a possível causa para a coleta de amostras com valores incorretos para os sensores em questão tenha sido o ambiente onde o experimento foi inicialmente conduzido, tendo-se em vista os resultados apresentados na repetição do experimento em novo ambiente de coleta de dados.

5.5 Avaliação Experimental

A micro estação meteorológica utilizada nos experimentos iniciais, além de barata também é de fácil configuração. Considerando o uso de uma estratégia inovadora que visa à utilização de ônibus como agente para prover mobilidade aos sensores, observa-se que além de uma menor quantidade de equipamentos utilizados para uma grande área de coleta há uma considerável redução no que diz respeito aos gastos com instalação, segurança e manutenção dos respectivos sensores. A estratégia do uso de sensores unidos a agentes de mobilidade, pode ser aplicada para a observação de áreas onde sejam identificados maiores riscos, justificando a instalação de estações de maior porte, com o objetivo de monitorar estrategicamente determinadas áreas.

Durante a realização dos experimentos com o equipamento estacionário, foi utilizada uma micro estação meteorológica que consiste de uma plataforma de prototipagem *open-source* Arduino. O equipamento em questão demonstrou ser capaz de realizar os primeiros experimentos, porém não foi capaz de gerar a geolocalização dos dados coletados. Visando obter a geolocalização dos dados coletados, foram montados e configurados dois equipamentos que também utilizam a mesma prototipagem. Todas as amostras coletadas foram armazenadas em cartões de memória, durante a realização dos testes, para posterior análise.

Uma vez que novos equipamentos foram utilizados para a realização das coletas, testes foram conduzidos no sentido de garantir que as amostras coletadas representam valores aproximados àqueles demonstrados pelo equipamento inicialmente utilizado no estudo quanto às coletas realizadas por meio de sensores posicionados de forma estática. Para tanto, as amostras coletadas por meio dos novos equipamentos, foram comparadas com dados ambientais disponibilizados por sites meteorológicos, conforme descrito anteriormente na análise dos resultados do primeiro experimento, mantendo um nível aceitável de precisão para os sensores de grandezas tais como temperatura e umidade.

5.6 Metodologia

Para a realização deste novo experimento, foi utilizada a metodologia do experimento anterior, porém com o diferencial de que as coletas seriam realizadas tanto com o uso de equipamentos posicionados de forma estacionária quanto móvel. O equipamento que se encontrava estacionário realizou a coleta das amostras, com o intervalo de tempo de um minuto entre cada coleta, ao mesmo tempo em que o segundo equipamento, por meio de um agente que proporcionou a mobilidade, realizava também a coleta de amostras.

O equipamento que realizou a coleta de forma móvel foi configurado de modo que as amostras fossem coletadas de forma automática, levando-se em consideração uma localização geográfica escolhida. Isso foi alcançado pelo uso de latitudes e longitudes máximas e mínimas, por meio das quais foi possível demarcar uma região de forma que o equipamento possa, por meio do algoritmo escrito, identificar o momento em que o mesmo se encontra em uma área de coleta pré-programada. Posteriormente, foi calculada a variação desta em comparação com as médias $\overline{5M}$, $\overline{10M}$ e $\overline{30M}$ para cada hora e cada grandeza para os equipamentos em questão.

5.6.1. Variáveis Independentes

Tem-se como variáveis independentes, todas as grandezas físicas cujas amostras foram coletadas pelos sensores em questão. As métricas aplicadas para estas grandezas seguiram os mesmos padrões estabelecidos durante a realização da primeira etapa deste trabalho e que consistiu da coleta de dados utilizando sensores posicionados estaticamente. As grandezas observadas durante a condução da segunda etapa do estudo foram: temperatura, umidade relativa do ar e monóxido de carbono.

5.7 Resultados Obtidos

Para a realização deste experimento, foi necessário um ambiente que proporcionasse energização e abrigo, bem como o espaço necessário para a realização das coletas das amostras por meio de sensores posicionados de forma estacionária e móvel. Para tal, foi utilizado um ambiente que proporcionou um maior controle do experimento e que permitiu que ambos os equipamentos realizassem a coleta das amostras em um ambiente aberto. Uma vez que ambos os equipamentos encontravam-se posicionados e em funcionamento, ao invés de se utilizar um ônibus, inicialmente, o equipamento responsável pela realização das coletas das amostras em movimento foi transportado em um carro.

O equipamento móvel possui como parte de sua arquitetura uma tela de cristal líquido, por meio da qual é possível acompanhar o andamento da coleta dos dados durante a realização do experimento, sendo assim, foi possível manter um ritmo constante de forma que a coleta das amostras fosse realizada pelo equipamento em um intervalo de tempo de aproximadamente um minuto e em regiões predefinidas. Posteriormente a coleta, os dados recuperados dos cartões de memória de ambos os equipamentos foram analisados, conforme resultado demonstrado na Tabela 3.

Com base nos dados demonstrados pela Tabela 3, pode-se concluir que as métricas utilizadas não geraram uma variação significativa mesmo para a média $\overline{30M}$. Isto é bastante positivo, pois demonstra que mesmo a coleta das amostras sendo realizadas de forma móvel, quando comparada à coleta realizada de forma estacionária, não houve perda significativa de precisão.

Levando-se em consideração que em nossa estratégia sugerimos a utilização dos ônibus como meio a proporcionar mobilidade aos sensores das métricas em questão, os resultados apresentados pela Tabela 3 nos motivaram a realizar testes em uma escala maior. Porém, por motivos relacionados à segurança do equipamento em questão, ao invés da utilização de um ônibus, em seu lugar foi utilizado um carro. Durante o experimento, o veículo se encontrava com os seus vidros abertos permitindo a livre circulação de ar do ambiente externo, em seu interior.

Tabela 3: Variação Percentual Média das métricas de interesse no período de observação

Grandeza Física	Estático	
	Métrica	Variação Percentual Média
Temperatura	$T(d, h)_{1M}^{\overline{5M}}$	0,34%
	$T(d, h)_{1M}^{\overline{10M}}$	0,49%
	$T(d, h)_{1M}^{\overline{30M}}$	0,20%
Umidade Relativa do Ar	$RH(d, h)_{1M}^{\overline{5M}}$	0,06%
	$RH(d, h)_{1M}^{\overline{10M}}$	0,37%
	$RH(d, h)_{1M}^{\overline{30M}}$	0,08%
Monóxido de Carbono	$CM(d, h)_{1M}^{\overline{5M}}$	1,19%
	$CM(d, h)_{1M}^{\overline{10M}}$	1,91%
	$CM(d, h)_{1M}^{\overline{30M}}$	2,82%
	Móvel	
Temperatura	$T(d, h)_{1M}^{\overline{5M}}$	0,20%
	$T(d, h)_{1M}^{\overline{10M}}$	0,68%
	$T(d, h)_{1M}^{\overline{30M}}$	1,37%
Umidade Relativa do Ar	$RH(d, h)_{1M}^{\overline{5M}}$	0,29%
	$RH(d, h)_{1M}^{\overline{10M}}$	0,26%
	$RH(d, h)_{1M}^{\overline{30M}}$	0,71%
Monóxido de Carbono	$CM(d, h)_{1M}^{\overline{5M}}$	0,82%
	$CM(d, h)_{1M}^{\overline{10M}}$	1,43%
	$CM(d, h)_{1M}^{\overline{30M}}$	0,12%

O coletor de dados móvel foi posicionado no interior do veículo de modo que o mesmo não estivesse diretamente exposto às movimentações bruscas das massas de ar durante a realização do experimento, bem como protegido. Com a utilização do veículo, foi percorrida uma rota que abrangeu tanto a rota tradicional dos ônibus que fazem parte do transporte público metropolitano, quanto às rotas menos congestionadas. Dessa forma,

seria possível observar o comportamento do equipamento e das amostras coletadas para as métricas de interesse de nosso estudo.

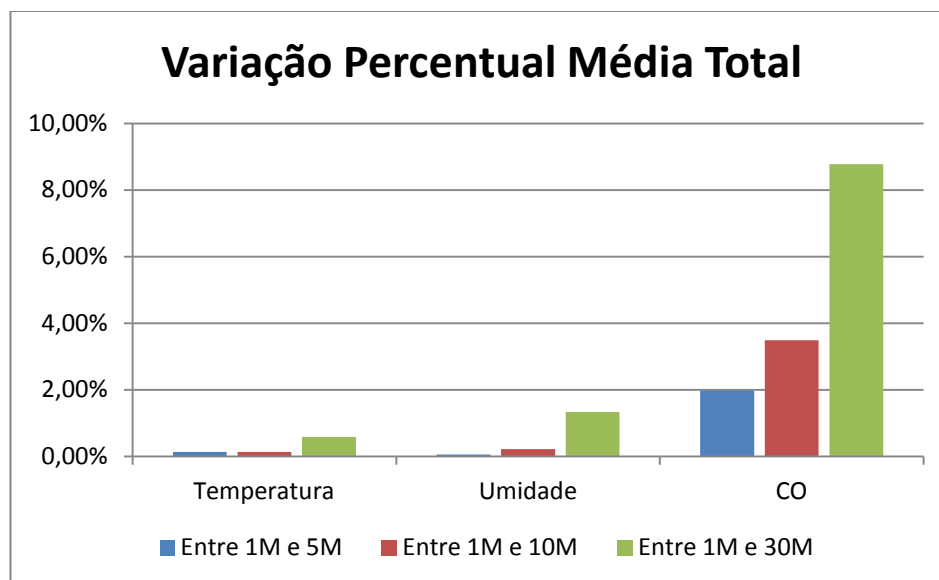


Figura 8: Variação percentual média total das métricas de interesse decorrente da coleta móvel.

Conforme os resultados demonstrados na Figura 8, podemos observar que as grandezas temperatura e umidade apresentaram excelentes resultados para todas as métricas utilizadas. A grandeza monóxido de carbono, para as médias $\overline{5M}$ e $\overline{10M}$, apresentou valores dentro do intervalo de confiança, porém para a média $\overline{30M}$, houve uma elevação considerável da variação percentual.

A variação apresentada para a grandeza monóxido de carbono, para a média $\overline{30M}$, se justifica pelo fato de que diferentemente das demais grandezas, esta se encontra mais suscetível à coleta de amostras que contenham uma maior variação, pois a coleta é realizada apenas duas vezes a cada hora. Pode-se observar que para esta grandeza, as médias $\overline{5M}$ e $\overline{10M}$ apresentaram resultados aceitáveis o que sugere que para se obter melhores resultados para a variação desta grandeza, para a média $\overline{30M}$, faz-se necessário uma maior quantidade de dados. Como resultado da realização deste experimento, que utilizou um coletor de dados unido a um agente que lhe proporcionasse movimento, foi obtido um conjunto de dados geolocalizados e que por consequência, podem ser utilizados para destacar o trajeto percorrido durante a realização da coleta das amostras pelos

sensores das grandezas em questão. Por meio da utilização de ferramentas disponibilizadas na internet, foi possível demonstrar, na trajetória percorrida, a variação sofrida pelas grandezas estudadas no experimento, conforme observado na Figura 9.

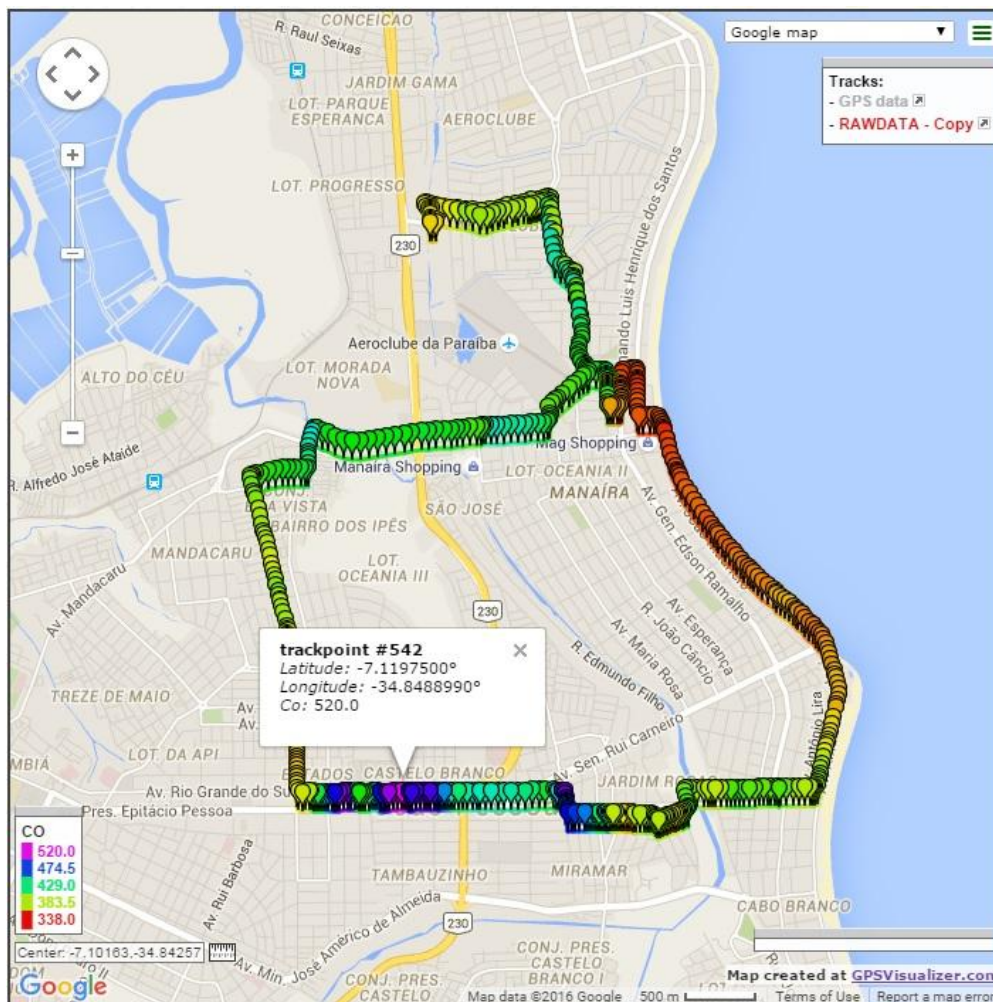


Figura 9: Amostras de CO coletadas e tratadas por meio de ferramenta disponível no site < www.gpsvisualizer.com>.

Uma vez que a grandeza monóxido de carbono apresentou-se mais suscetível a variações proporcionadas pelo ambiente, a mesma foi selecionada para demonstrar, visualmente, o valor contido nas amostras em todos os locais onde estas foram coletadas.

Por meio de uma tabela de cores disponibilizada pela ferramenta virtual encontrada na internet e visualizada na Figura 9, foi possível identificar algumas características nas amostras dos dados coletados. As áreas mais próximas ao litoral, bem como as áreas que apresentam menor quantidade de veículos apresentam uma concentração menor de CO. Em contrapartida, as áreas mais centrais apresentam uma maior quantidade de coletas. Tais

áreas são caracterizadas pela existência de um maior número de veículos, o que ocasiona congestionamentos e que acaba impactando tanto no intervalo das coletas, como implicam em um aumento significativo no valor coletado pelas amostras.

5.8 Considerações

Por meio da utilização desta ferramenta, é possível mapear as ilhas de monóxido de carbono, bem como rotas que sejam menos movimentadas. Por meio deste exemplo, foi possível observar a importância presente em nossa proposta, pois com a utilização de uma estratégia inovadora para que permita fazer o sensoriamento urbano preliminar com menos sensores através de coletores de dados, pode resultar em uma facilitação para a instrumentação das cidades. Isso pode se refletir diretamente na montagem e utilização de bases de dados abertos, por meio das quais aplicativos inovadores podem ser desenvolvidos com o objetivo de transformar positivamente o nosso cotidiano.

Capítulo 6

Conclusão

Este estudo apresenta uma abordagem para montagem de uma plataforma de sensoriamento urbano baseada no uso de sensores tradicionais através do uso de agentes de mobilidade. Aplicável em diferentes contextos e sob a ótica de diferentes tipos de dados de medição, a nossa proposta tem como objetivo principal a propositura e avaliação da viabilidade de uma abordagem para instrumentação urbana preliminar baseada em coletores de dados.

Foram realizadas algumas experiências para investigar a viabilidade de coleta de dados usando uma estratégia de amostragem esporádica, com sensores fixos, a qual representa um aspecto importante da nossa abordagem. Os resultados iniciais obtidos indicaram que a amostragem menos frequente de medidas ambientais não implica, diretamente, em perdas significativas na precisão das médias obtidas e pode representar uma alternativa promissora para coleta de dados urbanos.

Também foi estudada a utilização de um agente para proporcionar mobilidade aos sensores, de forma que amostras de dados pudessem ser coletadas em uma vasta área metropolitana. Com o objetivo de investigar a viabilidade desta proposta, experimentos foram conduzidos utilizando intervalos de coleta mais esparsos. Foi demonstrado pelos resultados obtidos, que mesmo considerando o maior intervalo durante a coleta das amostras, não são geradas perdas significativas na precisão, o que é bastante positivo para nossa proposta. Acreditamos que este estudo possa ajudar a motivar novos investimentos, bem como o desenvolvimento de aplicações e demais serviços digitais, que por meio da estratégia do uso de *Coletores de Dados Urbanos*, venham permitir, cada vez mais, que as cidades embarquem no conceito de cidades inteligentes.

Como continuação deste estudo, sugerimos a realização de uma pesquisa que estude a viabilidade de utilizar-se dos sensores em questão, aplicando alterações em sua arquitetura, de forma a permitir o envio das amostras coletadas à um servidor por meio de um ponto de acesso, o que nos permitiria simular uma VSN, bem como estudar a aplicabilidade desta proposta no contexto de bases de dados aberta.

Acreditamos que estratégias como os *Coletores de Dados Urbanos* podem facilitar a oferta de bases de dados abertas, as quais são fundamentais para o desencadeamento inicial de serviços em um espectro extensivo de domínios de aplicação baseado na disponibilização de plataformas de coleta de dados de relativo baixo custo. Ao ajudar a superar o requisito fundamental de instrumentação em larga escala, tais plataformas podem habilitar as infraestruturas municipais a embarcar definitivamente no domínio das arquiteturas tecnológicas de cidades inteligentes.

Apesar dos inúmeros desafios técnicos envolvidos, é esperado que o ecossistema de ciência e tecnologia de inúmeras cidades já reúna o potencial para implantar e explorar tais plataformas, abrindo a possibilidade de oferta de inúmeros serviços digitais de larga escala, sensíveis ao contexto, tanto para os cidadãos quanto para os gestores municipais. Nós vemos a nossa proposta mais como um modelo estratégico do que como um framework genérico ou sistema específico. Neste sentido, uma contribuição deste estudo pode ser a de estimular discussões frutíferas sobre abordagens mais simples e pragmáticas que tenham o potencial de alavancar o sensoriamento urbano em grande escala.

7 Referências Bibliográficas

- Acrobotic Industries LLC. (2014) "Smart Citizen Kit," www.acrobotic.com. Set 2014.
- Akyildiz, IF.; Weilian Su; et al. (2002) "A survey on sensor networks," *Communications Magazine*, IEEE. Agosto, 2002.
- Ahnn, J.H.; Lee, H.; Moon, H. J. (2011) "GeoServ: A Distributed Urban Sensing Platform," *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)*, 2011 11th IEEE/ACM International Symposium. Maio, 2011.
- Atzori, L.; Iera, A.; Morabito, G.; (2010) "The Internet of Things: a survey Computing Network," *New York, NY, USA*, v.54, n.15, p.2787–2805, 2010.
- Ayaki, R.; Shimada, H.; Sato, K.; (2012) "A Proposal of Sensor Data Collection System Using Mobile Relay Nodes", *Wireless Sensor Network*, Janeiro 2012.
- Barone, R.E.; Giuffrè, T.; Siniscalchi, S.M.; Morgano, M.A; Tesoriere, G. (2014) "Architecture for parking management in smart cities," *Intelligent Transport Systems*.
- Bellavista, P.; Cardone, G.; et al. (2013) "Convergence of MANET and WSN in IoT Urban Scenarios," *Sensors Journal*, IEEE. Outubro, 2013.
- Bruno, R.; Nurchis, M.; (2013) "Using vehicular networks for urban surveillance: An adaptive data collection scheme", *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2013 IEEE. Setembro, 2013.
- Cardone, G.; Bellavista, P.; Corradi, A; Foschini, L. (2011) "Effective collaborative monitoring in smart cities: Converging MANET and WSN for fast data collection," *Kaleidoscope 2011: (K-2011)*, *Proceedings of ITU*, vol., no., pp.1,8, 12.
- Cenedese, A.; Zanella, A.; Vangelista, L.; Zorzi, M.; (2014) "Padova Smart City: an Urban Internet of Things Experimentation", *IEEE 2014*, Junho 2014.
- Cranshaw, J. (2013) "Whose 'City of Tomorrow' is It? On Urban Computing, Utopianism, and Ethics," *UrbComp* 2013.
- Costa, R.; Resende, I.; Fernandes, S, (2015) "Urban Data Collectors: A Pragmatic Approach to Leveraging Urban Sensing", *IEEE IM 2015*, Ottawa. Maio 2015.
- DAG, (2011):"Manual dos Dados Abertos: Governo," http://www.w3c.br/pub/Materiais/PublicacoesW3C/Manual_Dados_Abertos_WEB.pdf. Abril, 2011.
- Denis, K., & Urry, J. (2009). *After the car*. Cambridge : Polity. Hardcover,p.180.
- Devarakonda, S.; Sevusu, P.; Liu, H.; Liu, R.; Iftode, L.; Nath, B. (2013) "Real-time air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas," *InProceedings of the 2nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing*.

- Fab Lab Barcelona (2014). "Smart Citizen Project," www.smartcitizen.me. September 2014.
- Goodchild, M.; (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal* 69.4 (2007): 211-221.
- Graham, S., & Marvin, S. (2002). *Telecommunications and the city: Electronic spaces, urban places*. Routledge.
- Guillemin, P.; Friess, P.; (2009) "Internet of things strategic research roadmap," The Cluster of European Research Projects, Tech. Rep., September 2009, [http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT Cluster Strategic Research Agenda 2009.pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IoT%20Cluster%20Strategic%20Research%20Agenda%202009.pdf).
- Gerais. M.; (2016) "Suposto radar acoplado a carro causa polêmica em Belo Horizonte ,," <http://g1.globo.com/minas-gerais/videos/v/suposto-radar-acoplado-a-carro-causa-polemica-em-belo-horizonte/4337465/>. Julho, 2016.
- Giordano, S.; (2002) "Mobile Ad Hoc Networks". In: *Handbook os Wireless Networks and Mobile Computing*, Ed. Ivan Stojmenovc. John Wiley & Sons, Inc.Pp 325-330.
- Hill, J.; Szewczyk, R.; Woo, A.; Hollar, S.; Culler, D.; Pister, K.; (2000) "System Architecture Directions for Networked Sensors," *ASPLOS*, Novembro, 2000.
- HSPA (2014) <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/99-hspa>.
- Hu, S.; Wang, Y.; Huang, C.; Tseng, Y.; (2009) "A vehicular wireless sensor network for CO2 monitoring," *Sensors*, 2009 IEEE , pp.1498,1501, 25-28. Outubro, 2009.
- Lee, U.; Magistretti, E.; Zhou, B.; Gerla, A. et al. (2006) "Efficient data harvesting in mobile sensor platforms," *Pervasive Computing and Communications Workshops*, 2006. PerCom Workshops 2006. Fourth Annual IEEE International Conference.
- Lee, U.; Zhou, B.; Gerla, M.; Magistretti, E.; Bellavista, P.; Corradi, A. (2006) "Mobeyes: smart mobs for urban monitoring with a vehicular sensor network," *Wireless Communications*, IEEE , vol.13. Outubro, 2006.
- Liu, J.; Chen, Y.; Lin, T.; Lai, D. et al. (2011) "Developed urban air quality monitoring system based on wireless sensor networks," *Sensing Technology (ICST)*, 2011 Fifth International Conference on. Novembro, 2011.
- Mao, X.; Miao, X.; He, Y.; Li, X.; Liu, Y. (2012) "CitySee: Urban CO2 monitoring with sensors," *INFOCOM 2012*. Março 2012.
- Martine, G.; Marshall, A. et al. (2007). *State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth*. In *State of world population 2007: unleashing the potential of urban growth*. UNFPA.
- Mitchell, W. J. (2003). *Me++: The Cyborg Self and the Networked City*. Cambridge, MA: The MIT Press.

- Monteiro, A.; Rosati, C. (2014) “Radares convencionais serão ampliados até 2015,” <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidiano/187764-radares-convencionais-serao-ampliados-ate-2015.shtml>. Setembro, 2014.
- Monteiro, A.; (2014) “Ônibus com radar vai aumentar número de multas em SP,” <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidiano/187763-onibus-radar-vai-aumentar-numero-de-multas-em-sp.shtml>. Folha de São Paulo. Setembro, 2014.
- Pareit, D.; Lannoo, B.; Moerman, I.; Demeester, P. (2012) “The History of WiMAX: A Complete Survey of the Evolution in Certification and Standardization for IEEE 802.16 and WiMAX,” *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE. Dezembro, 2012.
- Perera, C.; Zaslavsky, A.; Christen, P.; Georgakopoulos, D.; (2014) “Sensing as a Service Model for Smart Cities Supported by Internet of Things,” *Transaction on Emerging Telecommunications Technologies*, Australia. 2014.
- Picon, A. (2014). *Smart Cities. Théorie et critique d’un idéal auto-réalisateur*. Paris: Edition B2.
- Pottie, G.; (1998) “Wireless Sensor Networks,” *Proceedings of Information Theory Workshop*, 1998, pp. 139-140.
- Prefeitura Municipal de João Pessoa. (2014) “Dados sobre o Sistema de Transporte Coletivo Convencional,” <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semob/onibus>.
- Roche, S.; Rajabifard, A. (2012) “Sensing places' life to make city smarter,” In *Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing (UrbComp '12)*. ACM, New York, NY, USA, 41-46. 2012.
- Shah, R. C.; Roy, S.; Jain, S.; Brunette, W.; (2003) “Data MULEs: modeling and analysis of a three-tier architecture for sparse sensor networks,” *Ad Hoc Networks*, Vol 1, Issues 2–3. Setembro, 2003.
- Sheller, M. and Urry, J. (2006). *The new mobilities paradigm*. *Environment and Planning A*, n° 38, p. 221.
- SLTI (2016), <http://dados.gov.br/cartilha-publicacao-dados-abertos/>
- Yu, X.; Liu, Y.; Zhu, Y.; Feng, W.; Zhang, L.; et al. (2012) “Efficient sampling and compressive sensing for urban monitoring vehicular sensor networks,” *Wireless Sensor Systems*, IET. Setembro, 2012.
- Zanella, A; Bui, N.; Castellani, A.; Vangelista, L.; Zorzi, M. (2014) "Internet of Things for Smart Cities," *Internet of Things Journal*, IEEE. Fevereiro, 2014.

Anexo A

Código Fonte

Código Fonte 1: Coletas de Amostras de Dados Geolocalizados.

```
// Declaração das bibliotecas utilizadas.
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <dht.h>

// Declaração das portas do arduino que receberão os dados coletados pelos diversos sensores.
#define inPin A0 // Pino analógico que recebe a saída de dados do sensor de temperatura.
#define inPin2 A1 // Pino analógico que recebe a saída de dados do sensor de Co2.
#define dht_apin A2 // Pino que recebe a saída de dados do sensor de Humidade.

int ContadorColetas = 0;
int ano; //Variavel ano
byte mes, dia, hora, minuto, segundo, centesimos; //Dados que serão recebidos

// Inicialização para a utilização do display LCD.
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

TinyGPS gps;
SoftwareSerial ss(2, 3);

// Declaração do tipo da variável.
File rawdata;

// Declaração do tipo da variável.
dht DHT;

/***/

void setup()
{
    // Serial monitor
    Serial.begin(9600);
    // baud rate.
    ss.begin(9600);

    // Comentários para o serial monitor.
    Serial.print("Geracao do Posicionamento Geografico");
    Serial.println();

    // Inicialização do card
    Serial.print("Inicializando cartao de memoria (Micro SD Card): ");
```

```

pinMode(10, OUTPUT);

if (!SD.begin(10)) {

    // Set up das linhas e colunas do monitor LCD.
    lcd.begin(16, 2);
    // Print de mensagem para o display LCD.
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Inicializando");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Cartao Micro SD");

    delay(3000);

    Serial.println("Falha na inicializacao !");
    Serial.println();

    //Apagar todos os dados da tela lcd
    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Inicializacao");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Falhou");
    delay(3000);
}

else
{
    // Set up de linhas e colunas para o LCD.
    lcd.begin(16, 2);
    // Print da mensagem para o display
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Inicializando");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Cartao Micro SD");

    delay(3000);
    Serial.println("Sucesso na inicializacao !");
    Serial.println();

    //Apagar todos os dados da tela lcd
    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Inicializado");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Com Sucesso");
    delay(3000);
} //End Else

} //End Function

/***/

```

```

void loop(){

    bool newData = false;
    unsigned long chars;
    unsigned short sentences, failed;
    float latitude, longitude, decimalLatitude, decimalLongitude;
    int inteiroLatitude, inteiroLongitude;
    String stringLatitude, stringLongitude, xLatitude, yLongitude;

    //Leitura da Temperatura pelo sensor LM 335.
    int value = analogRead(inPin);
    float millivolts = (value / 1024.0) * 5000;

    // sensor output is 10mV per degree Kelvin, 0 Celsius is 273.15
    float celsius = ((millivolts / 10) - 273.15);

    // Lendo os dados coletados pelo sensor.
    DHT.read11(dht_apin);

    //Leitura do nível de Co pelo sensor mq - 7.
    int mq7 = analogRead(inPin2);

    // Criação do arquivo
    File rawdata = SD.open("rawdata.txt", FILE_WRITE);

    // Espera para coleta dos dados pelo GPS.
    for (unsigned long start = millis(); millis() - start < 1000;)
    {
        while (ss.available())
        {
            char c = ss.read();
            // Envio de dado para o terminal do monitor.
            //Serial.print(c);

            if (gps.encode(c))
                newData = true;
        }
    }

    // Armazenando os dados coletados no cartão de memória e imprimindo os mesmos na tela do
    console Arduino.
    if (newData)
    {
        //Chamada de funções
        gps.f_get_position(&latitude, &longitude);
        gps.crack_datetime(&ano,&mes,&dia,&hora,&minuto,&segundo);

        //Adicionando as variáveis inteiroLatitude e inteiroLongitude, apenas a parte decimal do
        número correspondente a estas coordenadas do GPS.
        inteiroLatitude = latitude;
        inteiroLongitude = longitude;

        //Adicionando nas variáveis, os números posteriores a vírgula.

```

decimalLatitude = (latitude - inteiroLatitude) * (1000000) * (-1); //Adicionar o restante das casas decimais e retirar o sinal de negativo do número multiplicando por - 1.

decimalLongitude = (longitude - inteiroLongitude) * (1000000) * (-1); //Adicionar o restante das casas decimais e retirar o sinal de negativo do número multiplicando por - 1.

//Atribuindo a variável tipo String a parte decimal da coordenada geográfica.

stringLatitude += decimalLatitude;

stringLongitude += decimalLongitude;

//Atribuindo a variável a parte inteira da latitude.

xLatitude += inteiroLatitude;

xLatitude += ".";

//Atribuindo a variável o zero da coordenada quando o mesmo não tiver sido detectado anteriormente.

if(stringLatitude.length() < 9){

 xLatitude += "0";

 for(int x = 0; x <= 4; x++){

 xLatitude += (stringLatitude[x]);

 }

}

//Atribuindo a variável a parte decimal da latitude .

else{

 for(int x = 0; x <= (stringLatitude.length() - 4); x++){

 xLatitude += (stringLatitude[x]);

 }

}

//Atribuindo a variável a parte inteira da longitude.

yLongitude += inteiroLongitude;

yLongitude += ".";

//Atribuindo a variável o zero da coordenada quando o mesmo não tiver sido detectado anteriormente.

if(stringLongitude.length() < 9){

 yLongitude += "0";

 for(int x = 0; x <= 4; x++){

 yLongitude += (stringLongitude[x]);

 }

}

//Atribuindo a variável a parte decimal da longitude .

else{

 for(int x = 0; x <= (stringLongitude.length() - 4); x++){

 yLongitude += (stringLongitude[x]);

 }

}

//Apagar todos os dados da tela lcd

lcd.clear();

// Visualização de dados na tela do shield LCD.

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(latitude,6);

// Visualização de dados na tela do shield LCD.

```

lcd.setCursor(11,0);
lcd.print(minuto, DEC);
lcd.print(":");
lcd.print(segundo, DEC);

// Visualização de dados na tela do shield LCD.
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(longitude,6);
lcd.setCursor(11,1);

// Visualização de dados na tela do shield LCD.
lcd.print(">");
lcd.print(ContadorColetas);

//Verificando se o equipamento está fisicamente passando pelo ponto de coleta.
if((xLatitude >= "-7.095060") && (xLatitude <= "-7.095140") && (yLongitude <= "-34.836231") && (yLongitude >= "-34.836158")){

//Armazenando no cabeçalho do arquivo a descrição dos campos.
if(ContadorColetas == 0 ){
  rawdata.println("Latitude;Longitude;Data;Hora;Temperatura;Humidade;Co;Contador");
}
//Escrita de dados no cartão de memória Micro SD Card.
rawdata.println("");
rawdata.print((xLatitude) );
rawdata.print(";");
rawdata.print((yLongitude));
rawdata.print(";");
rawdata.print(dia);
rawdata.print("/");
rawdata.print(mes);
rawdata.print("/");
rawdata.print(ano);
rawdata.print(";");
rawdata.print((hora - 3));
rawdata.print(":");
rawdata.print(minuto);
rawdata.print(":");
rawdata.print(segundo);
rawdata.print(";");
rawdata.print(celsius);
rawdata.print(";");
rawdata.print(DHT.humidity);
rawdata.print(";");
rawdata.print(mq7);
rawdata.print(";");
rawdata.print(ContadorColetas);

//Declaração de contador para indicar o número de vezes que a função foi executada
ContadorColetas = ContadorColetas +1;

// Visualização de dados na tela do shield LCD.
lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

```

```
    lcd.print("Amostra:");
    lcd.print(ContadorColetas);
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(DHT.humidity - (2));
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("T: ");
    lcd.print(celsius);
    lcd.print(" Co: ");
    lcd.print(mq7);

}

} // End IF(rawdata)

rawdata.close();
delay(1000);

} // End Loop
```

Anexo B

Código Fonte

Código Fonte 2: Coletas de Amostras Com Sensores Estáticos

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <dht.h>

#define inPin A0 // Pino analógico para o sensor de Humidade.
#define inPin2 A1 // analog pin
#define dht_apin A2 // Pino analógico para o sensor de Temperatura.

int ContadorColetas = 0;
File myFile;
dht DHT;

/***/

void setup() {
  // Abertura da porta de comunicação serial
  Serial.begin(9600);

  //Inicialização do cartão de memória.
  Serial.println("Inicializando cartao de memoria (SD Card): ");
  pinMode(4, OUTPUT);

  //Teste para garantir o sucesso na inicialização do cartão de memória.
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("Falha na inicializacao !");
    Serial.println();
  } else{
    delay(1000);
    Serial.println("Sucesso na inicializacao !");
    Serial.println();
  }

  //Confirmação da existência do arquivo no SD Card.
  if (SD.exists("myFile.txt")) {
    Serial.println("Arquivo myFile.txt já existe.");
  } else {
    Serial.println("Arquivo myFile.txt nao existe.");
  }
}

//Final do Setup.

/***/

void loop() {
```

```

//Leitura da Temperatura pelo sensor LM 35.
int voltagem = analogRead(inPin);
float millivolts = (voltagem/1024.0) * 5000;

// Saída de dados do sensor.
float temperatura = (millivolts/10);

//Leitura da saída do sensor de Humidade.
DHT.read11(dht_apin);

//Leitura da monóxido de Carbono pelo sensor MQ - 7.
int mq7 = analogRead(inPin2) + 100;

//Criação e abertura de arquivo.
File myFile = SD.open("myFile.txt", FILE_WRITE);

//Armazenando no cabeçalho do arquivo a descrição dos campos.
if(ContadorColetas == 0 ){
  myFile.println("Temperatura;Humidade;Co;Contador");
}

//Escrita de dados no cartão de memória Micro SD Card.
myFile.println("");
myFile.print(temperatura - 3,25);
myFile.print(";");
myFile.print(DHT.humidity);
myFile.print(";");
myFile.print(mq7);
myFile.print(";");
myFile.print(ContadorColetas);

//Declaração de contador para indicar o número de vezes que a função foi executada
ContadorColetas = ContadorColetas +1;

//Fechamento do arquivo.
myFile.close();

//Escrita de dados no cartão de memória Micro SD Card.
Serial.println("");
Serial.print(temperatura - 3,25);
Serial.print(";");
Serial.print(DHT.humidity);
Serial.print(";");
Serial.print(mq7);
Serial.print(";");
Serial.print(ContadorColetas);

//Tempo de espera para a realização dos comandos do LOOP.
delay(60000);
}

```