

AIA: Monitor da poluição do ar por meio de redes de sensores sem fio embarcados em ônibus urbano.

Alessandro Santiago dos Santos¹; Claudio Luiz Marte²; Leopoldo Rideki Yoshioka³; Jorge Pimentel Cintra⁴

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP - Centro de Tecnologia da Informação, Automação e Mobilidade - Av. Prof. Almeida Prado, 532 Cidade Universitária, São Paulo, SP, CEP 05 05508-901 – Telefone: 3767-4862 – alesan@ipt.br

^{1, 2, 3, 4} Universidade de São Paulo - Escola Politécnica de São Paulo – Av. Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, nº 83, Cidade Universitária - São Paulo – SP, CEP: 05508-900 – Telefone: +55 11 3091 5208 – claudio.marte@usp.br; Leopoldo.yoshioka@usp.br; jpcintra@usp.br

RESENHA

O tráfego é considerado um dos principais agentes causadores da poluição urbana do ar, sendo um desafio criar mecanismos de medida que possibilitem uma visualização geral da situação. O presente trabalho propõe uma plataforma tecnológica, composta de redes de sensores hospedados em ônibus, que monitora a poluição do ar por onde este trafega.

PALAVRAS-CHAVE: ITS; redes de sensores; poluição; monitoramento ambiental;

1 INTRODUÇÃO

Viver nas regiões urbanas é uma tendência cada vez maior, em âmbito mundial, estudos da ONU mostram que, no período de 1950 a 2011, a população mundial urbana passou de 26% para 51% do total, e há projeções de que, em 2050, 70% da população mundial viverá em meio urbano (ONU, 2012). Considerando o território brasileiro, o censo demográfico de 2010 mostrou que 84,4% da população vive em áreas urbanas (IBGE, 2011). Esta constatação aponta para a criticidade da situação e para os desafios dos gestores públicos, na difícil missão de oferecer uma boa qualidade de vida aos cidadãos. Estes desafios exigem uma postura criativa e desafiadora, para manter e melhorar as condições de vida nas cidades.

Segundo Peter Drucker, a mudança da sociedade está intrinsecamente ligada às cidades, e o planejar no contexto de cidades carrega definições do planejamento geral.

A definição do “Planejar”, o instituí como um processo contínuo de tomada de decisões, empreendedoras e atuais, de forma sistemática e com o melhor conhecimento possível de seu futuro, organizando os esforços necessários para efetivar as decisões e avaliando periodicamente os resultados dessas decisões, face às expectativas, por meio de uma realimentação, igualmente organizada e sistemática (DRUCKER, 1992).

Nesse contexto, o Plano Diretor urbano, que se tornou obrigatório a partir da Constituição Federal de 1988 para todos os municípios com mais de vinte mil habitantes, deve contemplar e definir uma lógica de ocupação urbana, visando integrar as políticas de transporte, trânsito, uso do solo e meio ambiente. O Plano Diretor de cada cidade não pode ser encarado apenas como um documento técnico, mas como um instrumento de desenvolvimento local, que se baseia na compreensão integrada dos elementos sociais, culturais, ambientais, institucionais, políticos, econômicos,

financeiros e espaciais, como condicionantes para alcançar os objetivos na gestão municipal (COSTA, 2008).

Dentro desse contexto, o presente trabalho vem ao encontro das necessidades de entender melhor os fenômenos das cidades e oferecer mecanismos que auxiliem a tomada de decisões para promover a melhoria de qualidade de vida dos cidadãos. Esta proposta deve-se se alinhar com as prioridades governamentais, com a missão de ser uma iniciativa visando tornar as cidades mais “sensitivas” (variáveis que qualidade do ar), com o suporte de uma plataforma de tecnologias de informação e comunicação. Para isso, propõe-se que o ônibus urbano, cuja malha cobre todo o território, devidamente instrumentado, seja um Agente Investigador Ambiental (**AIA**), que monitora as condições ambientais por onde trafega. Este agente é composto por uma plataforma tecnológica de rede de sensores sem fio hospedados em ônibus urbano.

Como fator inicial, o AIA propõe o monitoramento da poluição do ar, que é um dos indicadores mais afetados pelas emissões veiculares. Assim, esta plataforma utiliza-se de sensores de monitoramento de gases poluentes, coletando amostras do ar, de forma distribuída no espaço e no tempo.

2 DIAGNÓSTICO

Nas áreas metropolitanas, a poluição do ar tornou-se uma das mais graves ameaças à qualidade de vida dos cidadãos. Sendo os poluentes os causadores de graves problemas de saúde, principalmente em crianças e idosos. A Tabela 1 apresenta os principais poluentes presentes no ar em regiões metropolitanas.

Tabela 1. Poluentes do ar. Fonte: (**INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2014**)

Poluente	Sigla	Poluente	Sigla
Monóxido de Carbono	CO	Enxofre Reduzido Total	ERT
Fumaça	FMS	Hidrocarbonetos	HC
Partículas Totais em Suspensão	PTS	Gás Sulfídrico	H ₂ S
Material Particulado inalável inferior a 10 micrometros	MP ₁₀	Chumbo	Pb
Material Particulado inalável inferior a 2,5 micrometros	MP _{2,5}	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, meta, para e orto-xileno	BTEX
Dióxido de Enxofre	SO ₂	Amônia	NH ₂
Ozônio troposférico	O ₃	Dióxido de Nitrogênio	NO ₂

Já existem evidências que o aumento de concentrações de MP₁₀, SO₂, CO, NO₂ e O₃ têm efeitos nocivos à saúde, aumentando inclusive o número de atendimento hospitalar por doenças respiratórias em idosos (MARTINS, LATORRE, *et al.*, 2002) e doenças isquêmicas do coração (LIN, PEREIRA, *et al.*, 2003).

Os veículos são um dos principais emissores de poluentes em regiões urbanas, sendo que as emissões veiculares contêm diversas substâncias tóxicas que podem causar vários problemas ao sistema respiratório. Essas emissões são compostas de gases como: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO_x), Material Particulado (MP), aldeídos totais (RCHO), etc. A participação dos veículos na emissão leva a CETESB a realizar anualmente um inventário de emissões, que consta em seu Web site (CETESB, 2014a).

Neste contexto, a Organização Mundial da Saúde reconhece a importância de realizar uma análise espaço temporal da qualidade do ar, sendo o monitoramento uma ferramenta indispensável (WHO, 2000), à medida que:

- Permite identificar ameaças ao ecossistema natural;
- Contribui para o desenvolvimento de políticas públicas;

- Presta-se ao desenvolvimento, calibração e validação de outras ferramentas, tais como SIGs;
- Produz condições de prever o estado futuro e tendências da situação ambiental, assim como avaliar o efeito de ações de gestão;
- Facilita a identificação das fontes emissoras;
- Colabora com o planejamento do uso do solo e transportes.

No Brasil, o Programa Nacional de Controle da Qualidade do AR (PRONAR) foi um dos primeiros movimentos para o sistema de gestão de qualidade do ar. Ele foi instituído com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de número 5/1989 e 3/1990. O programa tem sido fortalecido, ao longo do tempo, pelas várias resoluções do CONAMA e a incorporação do monitoramento por vários Estados.

Nem todos os poluentes e compostos são monitorados, usualmente a monitoração se restringem a: CO, FMS, PTS, MP₁₀, SO₂, O₃, NO₂. Sendo assim, os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (OEMA) estabelecem sua rede de monitoramento para avaliar os índices destes poluentes. No caso de São Paulo, a CETESB é o órgão responsável por esta atividade.

Os resultados do monitoramento numa estação devem representar as concentrações do poluente numa escala espacial. Segundo a CETESB, estas escalas são:

- Microescala: representatividade espacial de áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
- Média escala: Blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes) com dimensões entre 101 e 500 metros;
- Escala de bairro: Bairros urbanos com atividade uniforme e dimensões entre 501 e 4.000 metros;
- Escala urbana: Cidades ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 km.

A Tabela 2 apresenta os níveis, cores de referência e sintomas relacionados à saúde para cada faixa de índice e qualidade do ar.

Tabela 2 – Cores de referência dos poluentes do ar. Fonte: (CETESB, 2014b)

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2.5} (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	Fumaça (µg/m ³)	Significado
N1 - BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20	0 - 50	
N2 - MODERADA	41-80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40	>50 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
N3 - RUIM	81-120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365	>100 - 150	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
N4 - MUITO RUIM	121-200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13-15	>320 - 1130	>365 - 800	>150 - 250	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N5 - PÉSSIMA	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800	>250	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

No primeiro diagnóstico das redes de monitoramento da qualidade do ar aponta alguns problemas, pelo fato que partes importantes do Brasil ainda estão sem monitoração,

com assimetrias estruturais significativas entre as regiões (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2014).

3 PROPOSIÇÃO

Cada cidade tem sua própria conjuntura política, cultural, social e econômica, portanto não é possível haver um único cenário para estabelecer prioridades governamentais para as cidades. As principais regiões metropolitanas brasileiras possuem mecanismos de monitoramento da qualidade do ar. No entanto, conforme citado partes importantes do Brasil ainda estão descobertas – sem monitoração. Surge então a dúvida de como aprimorar estas deficiências, de forma que se possa avaliar os resultados de iniciativas de mitigação das emissões e apoiar a decisão do gestor público na definição de estratégias para melhorar a qualidade de vida.

Uma alternativa para criar um arcabouço tecnológico de coleta de informações ambientais é instrumentar toda a cidade com sensores. Por outro lado, para se proporcionar uma visão abrangente seria necessário um grande número de sensores, além de um incremento constante, de forma a acompanhar o crescimento da mesma. Diante disso, a malha de transporte público coletivo surge como uma alternativa, pois cobre as principais áreas povoadas, possui uma postura dinâmica de crescimento e se adapta de forma coerente com a mutabilidade populacional e geográfica das cidades. Além disso, os modelos tradicionais fixos de monitoramento de qualidade do ar utilizam estações com sensores de alta precisão e acurácia, mas que possuem um alto custo de implantação (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2014).

Assim, aproveitando dos princípios de mobilidade do transporte público, o presente trabalho sugere a utilização de ônibus urbanos como hospedeiros móveis de sensores ambientais, capturando dados por onde trafegam, permitindo cobrir uma vasta região geográfica, com leituras periódicas. Desta forma, monitorando as condições ambientais influenciadas pelas emissões veiculares, com informações históricas, *on-line*, que estarão integradas a uma central de monitoramento, onde serão associadas à Sistemas de Informações Geográficas (Figura 1).

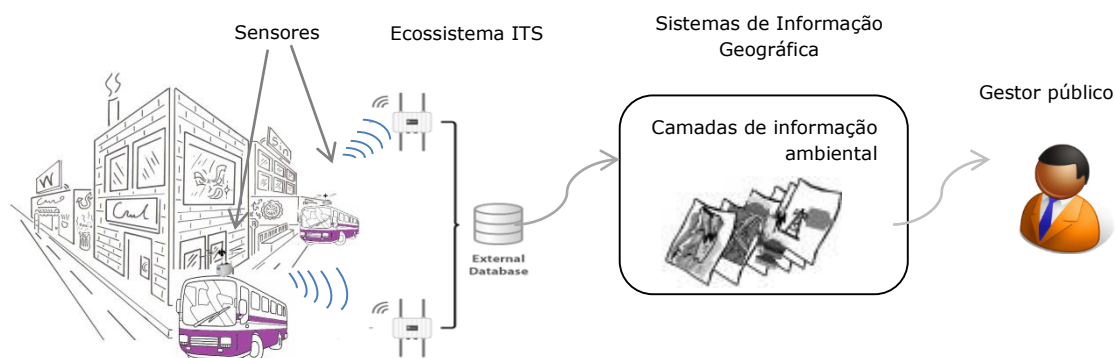


Figura 1- Arquitetura de monitoramento ambiental por sensores embarcados em ônibus

Como fator inicial de monitoramento, o AIA propõe a monitoração da poluição do ar, que é um dos indicadores mais afetados pelas emissões veiculares. Esta plataforma utiliza-se de sensores de monitoramento de gases poluentes, coletando amostras do ar, de forma distribuída no espaço e no tempo. Nesta configuração, o AIA pode ser um complemento e fortalecimento das redes de monitoramento de qualidade do ar, existentes em grandes cidades, uma vez que pode gerar mais informações sobre os índices de poluição em uma “micro escala”. Apesar de cada nó ter uma acurácia e precisão menor que as estações das redes de monitoramento, a quantidade de nós distribuídos pela cidade, poderão oferecer um conjunto de dados confiável.

O modelo aqui proposto baseia-se na análise de informações proveniente de vários sensores, que possuem um custo menor e facilitam o uso disseminado. Mesmo que com acurácia menor, as coletas por vários sensores distribuídos no espaço e no

tempo agregam um nível de confiabilidade satisfatório (SANCHEZ, MUÑOZ, *et al.*, 2014). Assim, poderá ter uma visão abrangente das condições da cidade, de uma forma instantânea e histórica, o que poderá subsidiar estratégias a serem adotadas para mitigar os efeitos indesejáveis, gerados pelo transporte nas grandes cidades.

A plataforma AIA pode então ser um instrumento para a criação de mapas temáticos com informações ambientais coletadas de forma distribuída e móvel, com correlações espaço temporais para auxiliar a tomada de decisões de gestores, ou como instrumento informativo para a sociedade. Além disso, fortalece as redes de monitoramento de qualidade do ar, uma vez que elas podem gerar mais informações sobre os índices de poluição em uma “micro escala”. Assim, a solução pode agregar valor a compreensão de regiões onde existirem as assimetrias significativas. Outro fator importante é a possibilidade de uso em cidades onde não exista um monitoramento constante, sendo uma informação que pode subsidiar a decisão se há necessidade de estabelecer a implantação de uma rede automática.

3.1 Preparação dos nós sensores

Para a execução do experimento inicial foi necessário definir e montar os componentes para serem incorporados no kit de sensores. Além de ser necessário programá-los e calibrá-los para uso nos experimentos.

Para esta definição levaram-se em consideração as opções de componentes presentes no kit do fabricante, que fossem compatíveis com os itens do monitoramento da qualidade do ar da CETESB, referentes a gases primários ou secundários emitidos por fonte veicular. Após a avaliação das várias opções de nós sensores, e utilizando-se da análise do estudo sobre a definição de critérios e utilização de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para monitoramento da qualidade do ar (HEJLOVÁ e VOŽENÍLEK, 2013). Optou-se pelos nós sensores do fornecedor *Libelium* (LIBELIUM, 2014a) que possui, em seu portfólio, kits customizados para o monitoramento de vários ambientes e cenários. Inclusive, estes kits já fizeram parte de experimentos similares em outras localidades no mundo (SANCHEZ, MUÑOZ, *et al.*, 2014) (BRKOVIĆ e SRETOVIĆ, 2012).

Como o objetivo deste trabalho envolve o monitoramento da qualidade do ar afetado por poluentes de emissões veiculares, não houve necessidade de se incorporar todos os sensores de gases presentes nas opções do fornecedor. O kit foi adquirido e montado em uma estrutura móvel para ser fixada no topo do veículo hospedeiro (Figura 2). Os sensores de gases são: CO, CO₂, NO₂, O₃. E, além desses: temperatura, umidade, GPS e comunicação por Wifi e gravação em SD Cards.

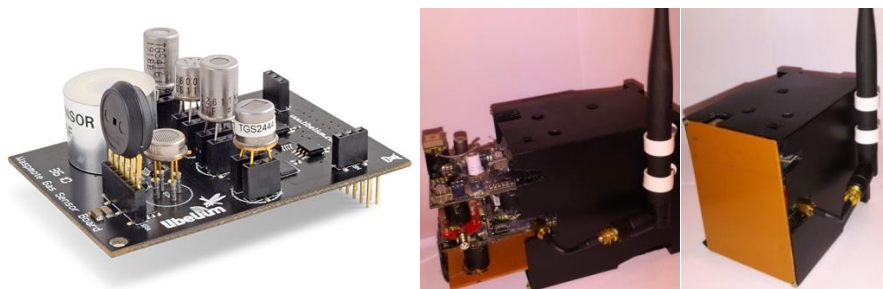


Figura 2 – Kit libelium montado com encapsulamento para fixação no topo do veículo.

3.2 EXPERIMENTO PILOTO

Embarcou-se um nó sensor em um veículo de passeio, que transitou por três dias em vias de alto volume de tráfego da capital paulista, nos horários de pico matinal (08h às 10h) e noturno (19h às 21h). O trajeto escolhido compreende duas vias de alto tráfego: a Avenida dos Bandeirantes e a Avenida Nações Unidas (Marginal Pinheiros), sendo que o trajeto foi dividido em 5 trechos, que estão destacados em cores diferentes na

Figura 3. Além disso, o registro fotográfico do experimento dos dias 13 até 21 de Outubro de 2014 está presente na Figura 4.

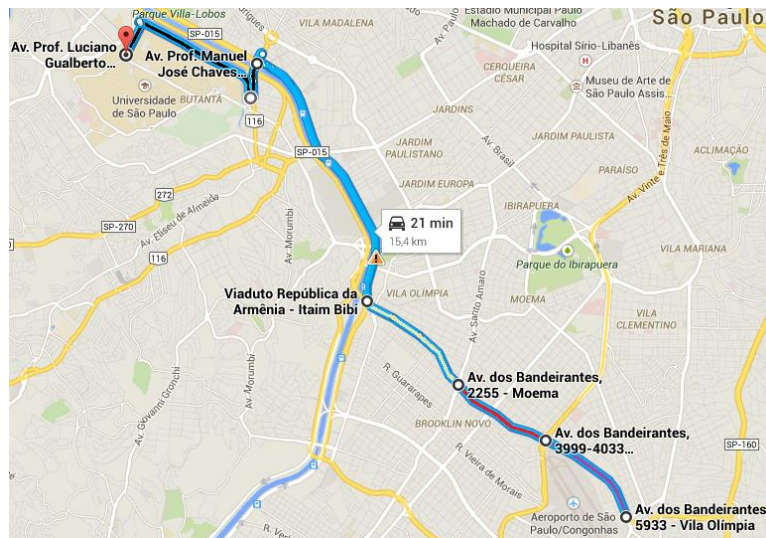


Figura 3 - Trajeto do experimento em vias de alto volume de tráfego



Figura 4 - Fotos do Trajeto – Vd. Jabaquara/Aeroporto/Vd. Santo Amaro/IPT (esq. para direita)

4 RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Diversos gráficos foram selecionados para sintetizar os resultados, obtidos por leituras a cada 30 segundos de um único kit sensor. Figuras 4 e 5, respectivamente para umidade e velocidade.

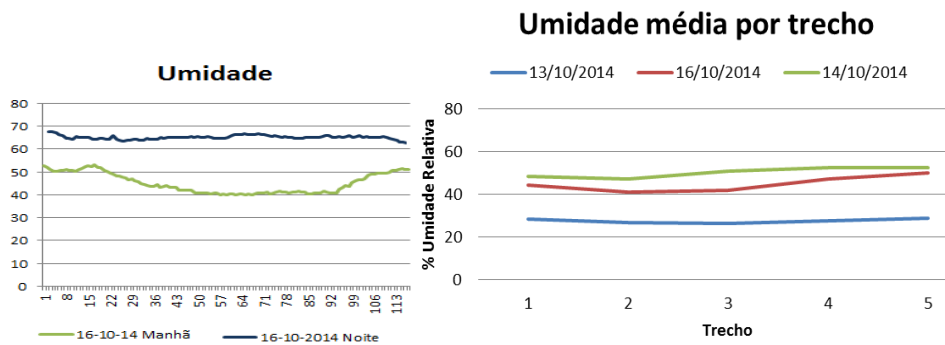


Figura 5 - Valores de umidade durante o dia/noite e por dias diferentes

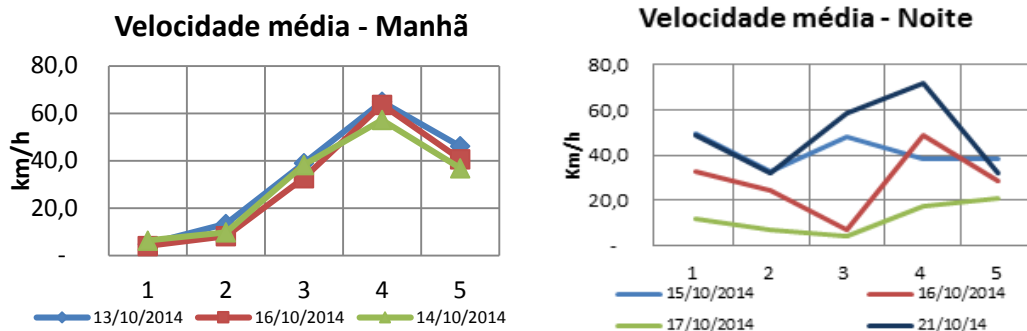


Figura 6 - Velocidade média diurna e noturna por trecho

As informações coletadas podem ser apresentadas como uma camada sobre mapas viários, de forma a demonstrar visualmente os pontos e resultados dos índices dos gases monitorados. A Figura 7 e Figura 8 apresentam as projeções no Google Earth dos índices baseados pela cor e espessura da linha de trajeto.



Figura 7 - Visualização das informações durante o trajeto no Google Earth

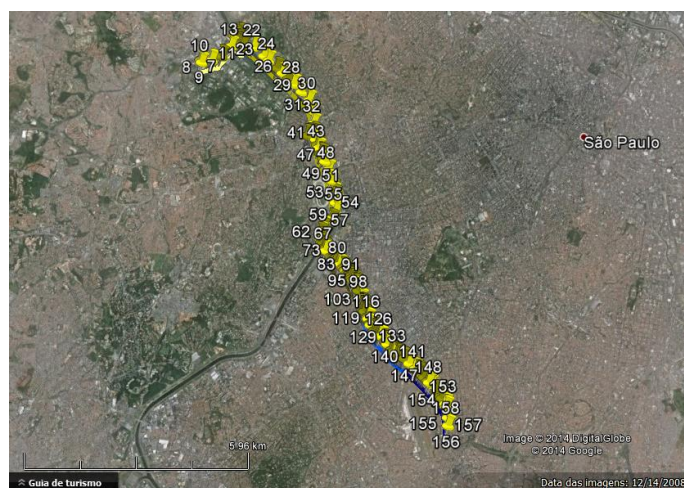


Figura 8 - Projeção de pontos coletados com informações dos sensores

4.1 Discussão dos Resultados

O Experimento foi realizado com o intuito de avaliar as variáveis ambientais em condições reais em vias de alto tráfego; assim foram coletadas informações de três dias, durante o período matutino e noturno e em horários de pico. Foram coletadas informações sobre a temperatura, umidade, CO e CO₂. Para cada tipo de informações algumas constatações puderam ser observadas.

Com relação a Umidade, o sensor possui uma representatividade estável e com similaridades com as estações da CETESB e INMET, no município de São Paulo. Por

exemplo, as leituras do dia 13 de Outubro apresentadas pelo nó sensor na Figura 5, apontavam que entre as 09h e 10h a situação da umidade já estava em estado de atenção (entre 20% e 30%). Esta informação foi coerente com as informações apresentadas pelas estações de medições da CETESB e INMET, que informaram que neste horário já se estava em situação de atenção, e que a situação chegou ao estado de alerta (entre 12% e 19%) no período da tarde, inclusive pelo segundo dia consecutivo (FOLHA DE SÃO PAULO, 13/10/14). Outra constatação, ao se comparar os trechos percorridos, foi que a região da USP apresentou em todos os casos, os maiores índices de Umidade.

Ao se analisar os dados referentes ao Monóxido de Carbono, sem uma análise estatística detalhada, não foi possível identificar correlação visual entre os valores matutinos com os noturnos, ou com o volume de tráfego. No entanto, o trecho da Cidade Universitária apresentou as menores resistências de CO, em todos os dias avaliados. Isto significa que a região apresentou as maiores concentrações deste poluente, uma vez que a relação é inversamente proporcional a resistência do sensor.

Por fim, a visualização das informações em ferramenta com projeção cartográfica ou com imagens do terreno (Figura 8), ajuda a associar as medidas dos sensores, às questões de ocupação do solo e facilita o entendimento dos resultados.

4.2 Análise de perspectiva multisensores

O modelo exposto no experimento piloto denotou apenas pontos de leituras em um trajeto linear gerado por um único sensor, o que dificulta a análise espaço temporal. Em situação real, com vários sensores e ônibus hospedeiros, poderá ser obtida uma cobertura geográfica melhor distribuída no espaço e no tempo, o que permitirá uma visão geral mais abrangente e uma interpolação espacial mais confiável. Alguns fatores devem ser ainda esclarecidos, como por exemplo, os modelos mais adequados para as análises espaço temporais e a projeção dos resultados em ferramentas que possam ser mais eficientes para a compreensão da situação das condições ambientais da cidade, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Em um monitoramento, há necessidade de um planejamento de granularidade de nós sensores, isto é, quais e quantos ônibus hospedarão os sensores, de forma que a cobertura geográfica da região foco seja atingida, assim como por quanto tempo este monitoramento deve ser feito, ou intervalo de coleta.

Por exemplo, na capital paulista, para monitorar a região central, uma boa alternativa é a linha 2002-10, circular Terminal Bandeira – Terminal Parque Dom Pedro II, que cobre a região foco desejada, permitindo leituras constantes da região (Figura 9).

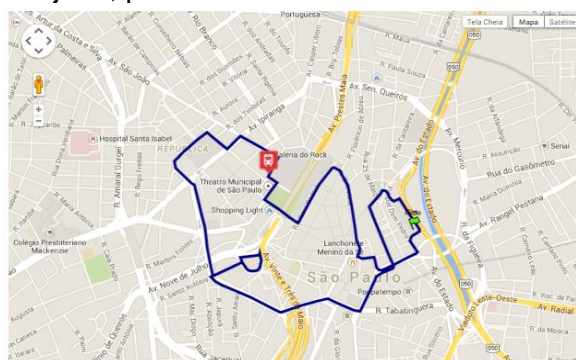


Figura 9 - Linha 2002-10 - Terminal Bandeira / Terminam Parque D. Pedro II.

5 CONCLUSÕES

Os resultados e as etapas concluídas até o momento revelam que a solução tecnológica empregada para coletar informações sobre as condições ambientais é viável e tem potencial para agregar valor aos sistemas de monitoramento da qualidade do ar instalados nas regiões metropolitanas brasileiras. Ainda pode representar um

mecanismo importante para as cidades que ainda não tem uma rede de monitoramento do ar estabelecida, seja para indicar tendências ou delimitar o momento quando uma rede de monitoramento deverá ser implantada.

O modelo exposto no experimento piloto denotou apenas pontos de leituras em um trajeto linear, o que dificulta a análise espacial com apenas um sensor ativo. Em situação real, com vários sensores e ônibus hospedeiros, se obterá uma cobertura geográfica com boa distribuição no espaço e no tempo, o que permitirá melhores análises do fenômeno em estudo.

REFERÊNCIAS

BRKOVIĆ, M.; SRETOVIĆ, V. Urban Sensing – Smart Solutions for Monitoring Environmental. 48th ISOCARP-International Society of City and Regional Planners World Congress. Russia: ISOCARP. 2012. p. 11.

CETESB. Emissões veiculares no estado de São Paulo 2013. CETESB. São Paulo, p. 150. 2014a. (0103-4103).

CETESB. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2013. CETESB. São Paulo, p. 110. 2014b. (0103-4103).

COSTA, H. Urbanismo sustentável em área de Proteção Ambiental. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo: Dissertação(Mestrado), v. 1, 2008. 86 p.

DRUCKER, P. The age of Discontinuity: guidelines to our changing society. 1. ed. London: Transaction Publishers, v. 1, 1992. 420 p. ISBN 978-1560006183.

FOLHA DE SÃO PAULO. Com umidade entre 20% sp decreta estado de alerta pelo 2 dia seguido. Caderno Cotidiano 13.10.14 - Jornal Folha de São Paulo, 13 out. 13/10/14. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/10/1531662-com-umidade-entre-20-sp-decreta-estado-de-alerta-pelo-2-dia-seguido.shtml>>. Acesso em: 16 nov. 14.

HEJLOVÁ, ; VOŽENÍLEK, V. Wireless Sensor Network Components for Air Pollution Monitoring in the Urban Environment: Criteria and Analysis for Their Selection. Wireless Sensor Network Journal, v. 5, n. 10, p. 229-240, December 2013. ISSN 1945-3078, <http://dx.doi.org/10.4236/wsn.2013.512027>.

IBGE. Censo Demográfico 2010- Características da população e domicílios - resultados do universo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, p. 270. 2011. (ISSN 0104-3145).

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. 1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. Instituto de energia e meio ambiente. São Paulo, p. 277. 2014.

LIBELIUM. Gases Board Technical Guide - Document version: v4.7. Libelium web page, set. 2014a. Disponível em: <http://www.libelium.com/downloads/documentation/gases_sensor_board_2.0.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2014.

LIN, C. A. et al. Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. Environmental Research, v. 92, n. 1, p. 57-63, May 2003. ISSN 0013-9351, [http://dx.doi.org/10.1016/S0013-9351\(02\)00054-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0013-9351(02)00054-3).

MARTINS, C. et al. Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: an ecological time-series study in São Paulo, Brazil. Journal of occupational and environmental medicine, v. 44, n. 7, p. 622-627, Jul 2002. ISSN PMID: 12134525.

ONU. World Urbanization Prospects the 2011 Revision - highlights. United Nations. New York, p. 33. 2012.

SANCHEZ, L. et al. SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. Computer Networks , v. 61, n. 0, p. 217 - 238, 2014. ISSN 1389-1286, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2013.12.020>.

WHO. WHO Air Quality Guidelines for Europe. 2. ed. Copenhagen: WHO Regional Publications, 2000. 288 p.