

Proposta de uma arquitetura para monitoramento e gerenciamento de redes de sensores em Redes Metropolitanas de Acesso Aberto

Rodrigo Ap. Morbach¹, Gean D. Breda¹, Leonardo de S. Mendes¹

¹Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - Campinas – SP – Brasil

{rmorbach, lmendes}@decom.fee.unicamp.br, gdbreda@gmail.com

Abstract. *Sensor networks has been used in a wide range of applications. In Digital Cities they play important role in order to gather real time data in urban scale. However, heterogeneous and complex solutions applied under such applications make management and monitoring tasks difficult as well as the interoperation between these systems. This paper provides a novel architecture based on service orientation which is able to homogeneously interconnect different kinds of sensor networks available in a Digital City. Based on the architecture a study case took place in a real Digital City in Brazil. We can conclude that the proposed architecture allows to manage heterogeneous entities in a unified way.*

Resumo. *As Redes de sensores têm sido utilizadas em uma ampla gama de aplicações. Em Cidades Digitais elas desempenham papel fundamental para prover dados em tempo real, no âmbito municipal. Entretanto, as diferentes abordagens e tecnologias empregadas em tais atividades tornam difíceis tarefas de monitoramento, gerenciamento, e também de interoperação dessas redes nesse cenário. Esse trabalho apresenta a proposta de uma arquitetura baseada no conceito de orientação a serviços para interconexão homogênea entre as diferentes redes de sensores existentes em uma Cidade Digital. Considerando o modelo arquitetural descrito, um estudo de caso foi realizado em uma Cidade Digital real. Com este estudo observamos que a arquitetura permite gerenciar entidades de maneira unificada e eficiente.*

1. Introdução

Avanços nas comunicações *wireless* e microeletrônica possibilitaram o desenvolvimento de sensores de baixo custo/consumo, com dimensões cada vez menores. Uma rede de sensores é composta de um grande número de nós densamente implementados próximos a fenômenos de interesse [Akyildiz et al. 2002]. Os nós trabalham colaborativamente para coletar dados e enviá-los para um dispositivo com maior capacidade, denominado *sink*. O estado da arte de redes de sensores consiste de redes de área pessoal sem fio, de curto alcance e baixa capacidade de transmissão [Hui, Juan e Jun 2011], construídas principalmente sobre a família de protocolos de comunicação IEEE802.15.

A evolução de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) também tem impulsionado o desenvolvimento das Cidades Digitais. [Mendes, Bottoli e Breda 2010] definem Cidade Digital como uma rede multimídia convergente que oferece acesso para toda a população de um município. No Brasil, o projeto de Redes Metropolitanas de

Acesso Aberto (RMAA) ou Infovias municipais [Mendes, Bottoli e Breda 2010] tem por objetivo construir infraestruturas de comunicação para a criação das Cidades Digitais. Muitas soluções de rede estão envolvidas no projeto de uma RMAA. Os principais protocolos de comunicação utilizados podem ser encontrados na pilha TCP/IP: 10G Ethernet, IEEE802.11, IEEE802.16, Gigabit Ethernet. Estes protocolos formam um ambiente genérico onde a escalabilidade e a flexibilidade são facilmente alcançadas, permitindo o oferecimento de uma diversificada gama de aplicações e serviços, tais como telefonia IP (VoIP), plataformas de *e-Gov* e *e-learning*, telemedicina e serviços de monitoramento e controle. Para fins de monitoramento e controle são cada vez mais utilizadas as redes de sensores [Juraschek et al. 2012][Hernández-Muñoz et al. 2011][Bartlett et al. 2011]. Essas redes têm contribuído para melhorias de serviços em termos de segurança, saúde, serviços públicos e automação.

Nesse contexto, as cidades estão optando por implementar soluções tecnológicas para abordar problemas reais dos municípios, tais como: eletricidade; água potável; saneamento e transporte, agravados pelo aumento populacional [Bartlett et al. 2011]. O principal problema com essas soluções é que elas estão restritas a domínios de aplicação específicos, não compartilhando informações com demais sistemas para tornar a cidade inteligente no contexto global do município. Ademais, a utilização de abordagens proprietárias e heterogêneas torna essa rigidez ainda mais evidente.

Com isso, o foco principal no desenvolvimento de aplicações para redes de sensores em cenários metropolitanos deve estar concentrado na utilização de mecanismos para promover a interoperabilidade de sistemas de monitoramento e a integração de dados heterogêneos. Em termos de sistemas distribuídos, SOA (*Service-oriented Architecture*) é considerada promissora para promover a interoperação entre sistemas com um alto nível de abstração. Ela tem por objetivo melhorar a eficiência, a agilidade e a produtividade, através do uso de serviços para a realização de objetivos da lógica de negócios [Erl 2008]. Embora SOA seja uma arquitetura neutra a qualquer plataforma tecnológica, a *Web*, por meio de *Web services* [W3C 2004] é a tecnologia que está mais fortemente atrelada a sua concepção [Erl 2008]. *Web services* permitem criar interfaces de comunicação entre diferentes sistemas através da adoção de padrões independentes de plataforma e de linguagem de programação, resultando em ambientes escaláveis, aplicações fracamente acopladas e capazes de interoperar entre si.

Redes de sensores possuem potencial para promover o desenvolvimento de Cidades Digitais. Nesse sentido, este trabalho propõe uma arquitetura baseada no conceito de orientação a serviços para a sua aplicação em Cidades Digitais concebidas sobre RMAA, utilizando seus recursos para criar um ambiente sensor em escala municipal sem a necessidade de conexão com a Internet. São empregadas tecnologias e protocolos independentes de plataforma, promovendo o compartilhamento de dados e a interoperabilidade entre sistemas. Para avaliar a viabilidade da arquitetura, foi realizado um estudo de caso na cidade digital de Pedreira, no interior do estado de São Paulo.

O restante do artigo está estruturado como segue: na seção 2 estão algumas abordagens já propostas para monitoramento em cenários urbanos. A arquitetura proposta é apresentada na seção 3, seguida pelo estudo de caso descrito na seção 4. Alguns resultados são expostos na seção 5 e por fim as conclusões encontram-se na seção 6.

2. Monitoramento em cenários urbanos

Diferentes abordagens têm sido utilizadas para fins de monitoramento e controle em espaços urbanos. Com isso, modelos distintos de arquitetura e sistema foram desenvolvidos. [Vikatos et al. 2011] descrevem uma arquitetura de sistema para monitoramento de gases nocivos no município de Patras, na Grécia. A arquitetura aborda a utilização de nós sensores móveis, acoplados à veículos, coletando dados sobre a qualidade do ar e alimentando uma base central de informações. Mulas de dados (*Data mules*) atuando como *gateways* são responsáveis por visitar cada nó individualmente, extrair e transmitir os dados coletados para a base central.

[Suakanto et al. 2013] descrevem a criação de um sistema sensor para Cidades Digitais. O sistema consiste de um painel informativo que reúne informações coletadas por redes de sensores existentes no município. Dentre as informações exibidas estão temperatura, níveis de poluição do ar e condições de tráfego.

Considerando o potencial de *Web services* para sistemas sensores, [Gniadek et al. 2008] propõem uma infraestrutura baseada em redes ZigBee para monitoramento de tráfego em ambientes urbanos. Dispositivos sensores posicionados em rodovias transmitem suas leituras para um nó de acesso, encarregado de encaminhar as informações para um servidor central. Usuários podem consultar o servidor através de *Web services* a fim de consumir informações sobre condições de tráfego. O sistema, no entanto, não foi aplicado em um cenário real. [Zhou, Chen e Chen 2013] apresentam proposta similar também para monitoramento de tráfego e de qualidade do ar.

Percebe-se o crescimento de iniciativas para a aplicação de redes de sensores em cenários urbanos. Porém, nota-se também a rigidez das soluções propostas e a natureza restritiva dessas, focadas em domínios específicos de aplicação. A falta de uma infraestrutura de comunicação adequada para cobrir uma grande área, como municipal, inibe a integração de redes de sensores. As RMAAs fornecem escala e flexibilidade para interconectar pontos distantes de maneira simples e eficiente. Ainda assim, constata-se a necessidade de criação de uma arquitetura baseada em padrões genéricos e independentes de plataforma para integrar redes de sensores heterogêneas nesse cenário para o monitoramento e gerenciamento eficiente. Pensando nisso, a arquitetura descrita na seção 3 é baseada no conceito de orientação a serviços, empregando *Web services* em níveis de aplicação e também de comunicação.

3. Arquitetura proposta

Como mencionamos anteriormente, as redes de sensores podem ser utilizadas em cenários metropolitanos para monitorar ruas/avenidas, fazer o gerenciamento de tráfego, monitorar variáveis ambientais e variáveis específicas, como níveis de reservatórios e consumo de energia elétrica. A implantação de sistemas sensores nesse cenário é complexa e precisa ser cuidadosamente analisada. Aplicações de domínios distintos devem compartilhar dados de sensoriamento em tempo real para que sistemas inteligentes possam executar análises a fim de correlacionar e prever fenômenos, identificar padrões, propor melhorias e reagir proativamente aos eventos.

Considerando os elementos que compõem as redes de sensores e a infraestrutura de comunicação digital de uma RMAA, estamos propondo uma nova abordagem segundo a arquitetura exposta na Figura 1.

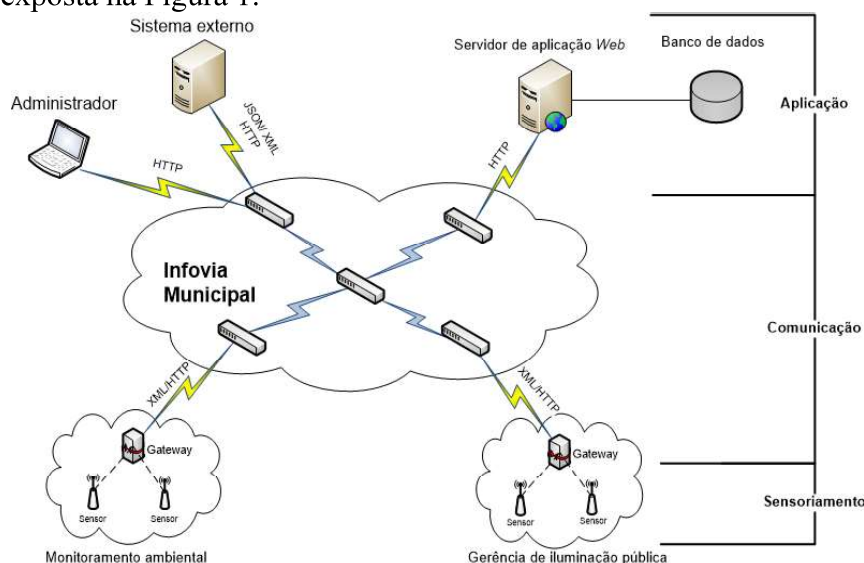


Figura 1. Arquitetura proposta.

A arquitetura proposta consiste na utilização de padrões *Web*, como o HTTP e o XML, para a criação de *Web services*, onde serviços podem ser consumidos tanto nível de aplicação quanto de comunicação. Dessa forma, interfaces genéricas e independentes de plataforma são concebidas. A arquitetura é composta por três camadas: *Aplicação*, *Comunicação* e *Sensoriamento*. A Figura 1 exhibe a arquitetura conceitual aplicada na topologia de uma RMAA.

A Camada de Aplicação compreende as instâncias *Web server* e de banco de dados. Ela centraliza os dados coletados pelas redes de sensores de diferentes domínios e fornece interfaces amigáveis para que os administradores possam gerenciá-las. Sistemas externos podem consumir os dados coletados em formatos flexíveis, como JSON (*JavaScript Object Notation*) e XML, através de *Web services* baseados na arquitetura REST (*Representational State Transfer*) a partir dessa camada.

Devido a heterogeneidade em termos de *hardware* e *software* que podem ser utilizados nas redes de sensores, interfaces comuns devem ser concebidas para abstrair essas diferenças. A Camada de Comunicação compreende a infraestrutura (rede de dados) da RMAA, responsável por interligar os ambientes monitorados no cenário municipal, e dispositivos do tipo *gateway*, encarregados de tratar as interações entre o nível de aplicação e as redes de sensores por meio da RMAA. Os *gateways* atuam como *Web servers*, fornecendo serviços de descoberta, configuração, segurança e coleta de dados das redes de sensores subjacentes.

A camada de sensoriamento é composta por redes de sensores e atuadores responsáveis por coletar dados de fenômenos de interesse dos ambientes e interagir com eles. Vale salientar que a Camada de Aplicação é insciente dos protocolos de comunicação usados na camada de sensoriamento, visto que os *gateways* devem fornecer interfaces uniformes para acesso às informações das redes.

3.1 Segurança da informação

A segurança na RMAA deve ser considerada tendo em vista que a rede é responsável por interconectar prédios públicos de um município, onde dados sigilosos pertencentes a administração e aos municípios são manipulados. A arquitetura proposta prevê abordagens relacionadas à segurança da informação para aplicação nas suas três camadas. Na Camada de Aplicação, o acesso é realizado mediante credenciais de identificação baseadas em usuário e senha. Em nível de Comunicação, o tráfego das redes de sensores é segregado através do uso de VLANs (*Virtual Local Area Networks*). Outra abordagem para comunicação segura entre *gateways* e o servidor é a utilização do protocolo HTTP sobre SSL (*Secure Socket Layer*) (HTTPS). Essa abordagem é utilizada juntamente com a autenticação HTTP básica (*BASIC-AUTH*), para restringir o acesso aos *gateways* e evitar manipulação indevida. A segurança em nível de Sensoriamento é dependente da tecnologia empregada.

3.2 Modelagem de software

Independente do contexto de aplicação, o principal objetivo das redes de sensores é a coleta de dados. Para desenvolver um sistema adequado à arquitetura proposta é preciso identificar os principais componentes envolvidos, suas características e atributos, bem como as relações existentes entre eles. Modelos genéricos devem ser concebidos para que sejam, de modo geral, apropriados para guiar desenvolvedores no processo de elaboração de sistemas de mesma natureza.

Um modelo de domínio é importante para representar as características das entidades relacionadas. O objetivo de uma análise de domínio é criar classes de análise ou padrões que sejam altamente aplicáveis, tal que possam ser reutilizados [Pressman 2009, cap. 6]. Esse modelo fornece a base, a estrutura para as necessidades de informação de um sistema. Diagramas de implantação ilustram unidades de *software* nos moldes da proposta, em arquitetura física. Componentes físicos e protocolos são representados nessa etapa.

Sustentado pelo contexto de aplicação *Web*, o padrão MVC (*Model-View-Controller*) foi adotado para modelar a Camada de Aplicação. O MVC permite separar a lógica de negócio do nível de apresentação. O *model* (M) corresponde a camada de negócios do sistema. Ele é o responsável por encapsular e gerenciar os dados no domínio de aplicação. A camada de visão (*view*) responde pela apresentação dos dados. É a camada de interação com o usuário. O *controller* é responsável por intermediar a comunicação entre os dois últimos, respondendo as requisições feitas por clientes, enviando consultas ao *model* e retornando informações na camada de visão. A divisão do sistema em camadas permite a modularização e facilita a manutenção do sistema.

As abordagens mencionadas foram utilizadas para o desenvolvimento da arquitetura. Em virtude da limitação de espaço, os diagramas não são expostos.

4. Estudo de caso

Essa seção descreve a configuração de um estudo de caso realizado na Cidade Digital de Pedreira, no interior de São Paulo. Como prova de conceito, um sistema de monitoramento ambiental foi desenvolvido nos moldes da arquitetura proposta. O restante da seção retrata o estudo realizado.

4.1 RMAA de Pedreira

Pedreira possui cerca de 45 mil habitantes e recebeu em 2006 o projeto de RMAA, iniciativa do LaRCom (UNICAMP) junto ao governo municipal, tornando-se o primeiro município brasileiro a ser chamado de Cidade Digital [Breda et al. 2011]. Sua infraestrutura é híbrida, composta por um *backbone* Gigabit Ethernet de fibra óptica (cerca de 30 km de fibra óptica monomodo) e células de acesso sem fio baseadas nos padrões IEEE802.11 a e g. Existem cerca de 60 células espalhadas pela cidade. O objetivo da RMAA de Pedreira é interconectar prédios públicos, como escolas, prédios de governo e centros de saúde. Conecta também cerca de 4200 residências, oferecendo inúmeros serviços a municipalidade, como por exemplo, o acesso a Internet, sem custos.

Um sistema de monitoramento ambiental foi desenvolvido e implantado em diferentes localidades. Os pontos escolhidos foram a prefeitura municipal e o centro de gerência da Infovia. A Figura 2 exibe o mapa parcial da RMAA de Pedreira destacando os pontos utilizados no estudo de caso e os meios de interconexão entre eles.

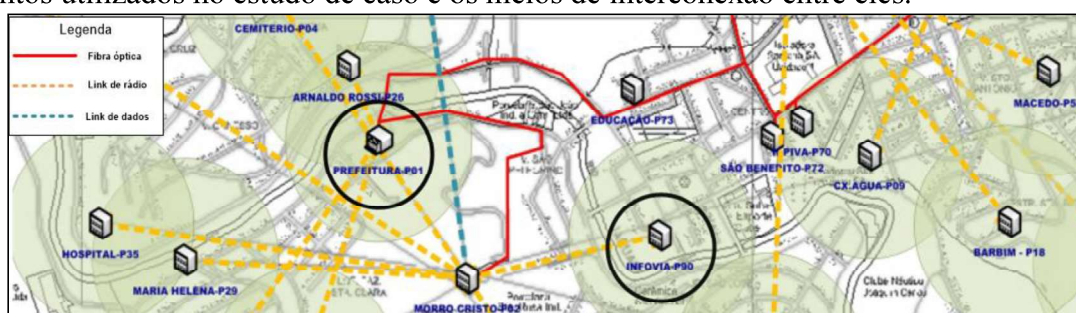


Figura 2. Pontos da RMAA de Pedreira utilizados no estudo de caso.

No centro de gerência da Infovia foram implantados os servidores de aplicação *Web* e de banco de dados. No prédio da prefeitura foi configurada uma rede sem fio ZigBee, composta de nós sensores de temperatura e um dispositivo *gateway*. O *gateway* se conecta a RMAA, sendo responsável por estabelecer comunicação com o servidor *Web* através de mensagens XML via HTTP. A Figura 3 ilustra a interconexão lógica entre os pontos mencionados.

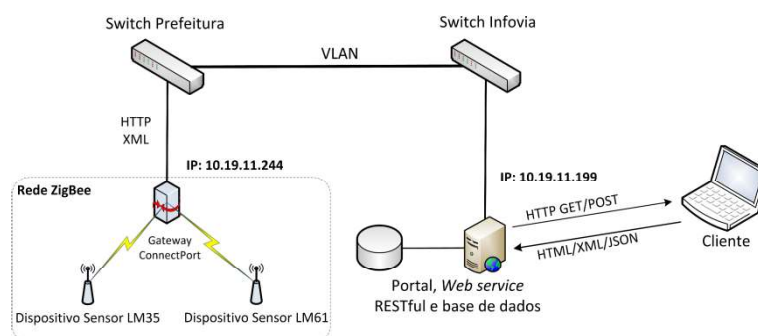


Figura 3. Estrutura da rede utilizada para estudo de caso.

Foi criada uma VLAN para segregar o tráfego proveniente da rede de sensoriamento de outros tráfegos existentes. Adotamos também a autenticação HTTP básica baseada em usuário e senha para comunicação com o *gateway*. Somente mediante essas credenciais é possível obter dados da rede monitorada.

4.2 Rede de sensores

Uma rede ZigBee foi implantada no prédio da prefeitura. A rede, que compreende a Camada de Sensoriamento da arquitetura, é composta por dois terminais sensores responsáveis por coletar informações de temperatura e também níveis do sinal *wireless* da rede no ambiente. Os sensores foram posicionados em salas diferentes. Um dos locais monitorados foi o centro de processamento de dados (CPD), onde o tráfego da RMAA é centralizado. O outro ambiente era uma sala comum do prédio da prefeitura.

Para formar os nós sensores foram utilizadas duas placas microcontroladoras Arduino Uno R3. Dois sensores diferentes de temperatura foram utilizados, o LM35 e o LM61. Ambos sensores possuem tensão de saída linearmente proporcional a temperatura em graus Celsius ($+10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$), no entanto, apresentam precisões diferentes.

Para estabelecer a comunicação dos sensores com o *gateway* via protocolo ZigBee, foram utilizados dois módulos Digi XBee 802.15.4/ZigBee *Series 2* [Digi 2014], com antena *wire*, frequência de 2.4 GHz, potência de transmissão de 1.25 mW e alimentação de 3.3V. O outro componente da rede sensora é parte integrante do *gateway*. Trata-se de um XBee 802.15.4/ZigBee com antena RPSMA 2.4GHz, configurado para atuar como coordenador da rede.

Para constituir a Camada de Comunicação foi utilizado um dispositivo *gateway* ZigBee/IP ConnectPort X2 [Digi 2014b] versão comercial. Ele é composto de um rádio XBee para comunicação sem fio via protocolo IEEE802.15.4 e possui um servidor *Web* embarcado. Possui ainda uma entrada Ethernet para a conexão com a RMAA. A Figura 4 exibe ambos *gateway* e um dos dispositivos sensores utilizados.

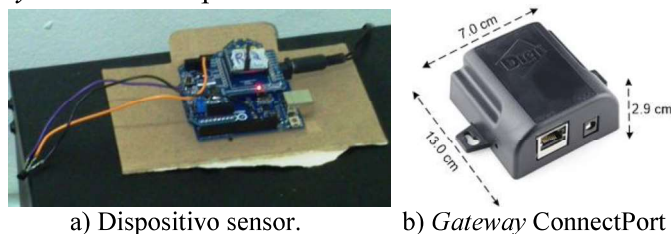


Figura 4. Dispositivos implantados no prédio da prefeitura.

4.3 Servidor de aplicação *Web*

O servidor da camada de aplicação foi desenvolvido em linguagem PHP (*Hypertext Preprocessor*), versão 5.4.12. Ele foi empregado para interação com o banco de dados e também para a criação de *Web services*. Como servidor HTTP utilizamos o *Apache* versão 2.4.4. Ambos *Apache* e PHP rodam em plataformas baseadas em Unix e Windows. Para persistir informações das redes de sensores foi usado o sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL 5.6.12. Todas as ferramentas mencionadas possuem licença comercial gratuita.

O acesso ao sistema pelos administradores deve ser realizado mediante credenciais baseadas em usuário e senha. O sistema então identifica o usuário e os seus privilégios de acesso, para disponibilizar a manipulação somente aos locais, dentre os quais, ele possui permissões suficientes. *Web services* baseados em REST permitem que os dados coletados sejam compartilhados com sistemas externos em formatos flexíveis, como JSON e XML. Cabe ao administrador definir se deseja ou não compartilhar essas informações.

5. Resultados

Foram coletados dados entre os meses de março e abril de 2014. Após a implantação da rede de sensores na prefeitura e da criação da aplicação servidora, a rede foi configurada através do portal *Web*. O intervalo definido para amostragens de dados foi de cinco minutos. A Figura 5 exibe um comparativo entre as médias diárias de temperatura coletadas no período de duas semanas.

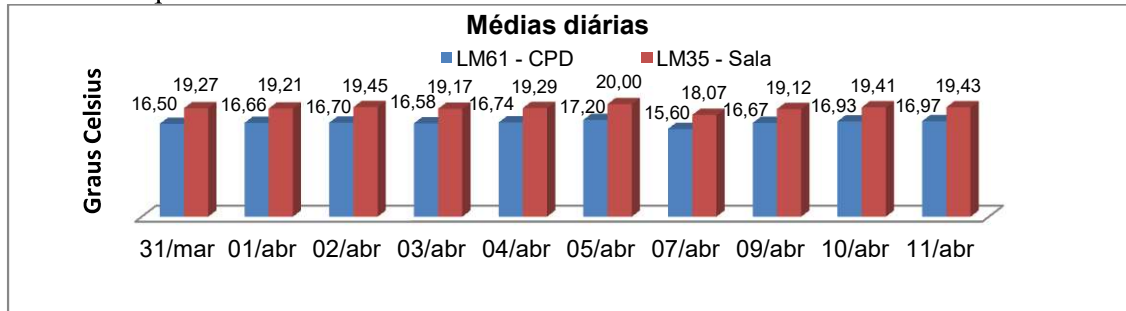
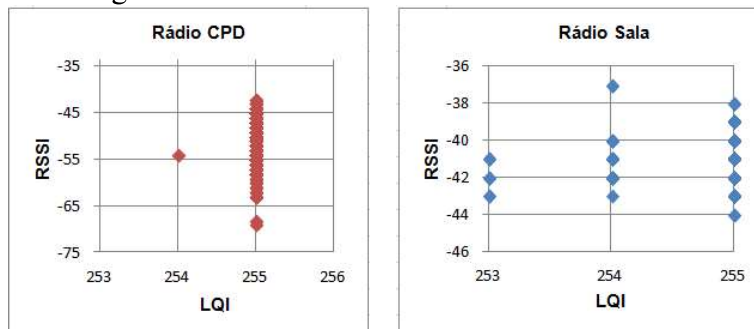


Figura 5. Gráfico comparativo entre as médias diárias de temperatura.

Com base nos dados coletados é possível montar um histórico de temperaturas que podem nos levar a predições, identificação de padrões e de anormalidades.

A cada amostragem de temperatura foram coletadas informações sobre a intensidade do sinal recebido (RSSI) e qualidade do *link* (LQI), entre o *gateway* e os rádios, para avaliar os níveis de qualidade da comunicação sem fio na rede. O RSSI é um indicador, mensurado em $-dBm$, da potência do sinal recebido pela antena, onde um maior valor indica sinal mais forte. O LQI é uma métrica da qualidade do sinal recebido. Os limiares do LQI são 0 e 255. Da mesma maneira, quanto maior esse valor, melhor é a qualidade do sinal. A Figura 6 exibe os valores coletados.



a) Valores de RSSI e LQI do rádio do CPD.

b) Valores de RSSI e LQI do rádio da sala.

Figura 6. Gráfico de dispersão dos níveis de qualidade do sinal *wireless*.

Analisando a Figura 6 é possível notar que a comunicação sem fio estabelecida possuía boa qualidade, principalmente com o rádio do CPD. Também é possível inferir que a intensidade do sinal recebido não está diretamente relacionada com a qualidade do *link*, visto que alguns valores mais altos de RSSI foram acompanhados de menores valores de LQI. De posse das informações sobre a comunicação sem fio é possível identificar interferências eletromagnéticas e realizar alterações na organização e topologia dos nós.

O compartilhamento de informações foi possível pelo uso de *Web services*. A Figura 7 exibe os mesmos dados coletados de um ambiente reportados em formatos XML e JSON.

<pre> <log> <sensor>Temperatura CPD</sensor> <dados> <registro> <valor>16.8</valor> <data_hora>2014-04-01T12:26:38</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.2</valor> <data_hora>2014-04-01T12:31:39</data_hora> </registro> <registro> <valor>16.0</valor> <data_hora>2014-04-01T12:36:39</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.2</valor> <data_hora>2014-04-01T13:06:41</data_hora> </registro> <registro> <valor>16.4</valor> <data_hora>2014-04-01T13:11:41</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.2</valor> <data_hora>2014-04-01T13:16:41</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.2</valor> <data_hora>2014-04-01T13:21:42</data_hora> </registro> <registro> <valor>15.6</valor> <data_hora>2014-04-01T13:26:42</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.6</valor> <data_hora>2014-04-01T13:31:42</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.2</valor> <data_hora>2014-04-01T13:36:43</data_hora> </registro> <registro> <valor>16.0</valor> <data_hora>2014-04-01T13:41:43</data_hora> </registro> <registro> <valor>18.0</valor> <data_hora>2014-04-01T13:46:43</data_hora> </registro> <registro> <valor>15.6</valor> <data_hora>2014-04-01T13:51:43</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.6</valor> <data_hora>2014-04-01T13:56:44</data_hora> </registro> <registro> <valor>16.0</valor> <data_hora>2014-04-01T14:01:44</data_hora> </registro> <registro> <valor>16.8</valor> <data_hora>2014-04-01T14:06:44</data_hora> </registro> <registro> <valor>17.2</valor> <data_hora>2014-04-01T14:11:45</data_hora> </registro> <registro> <valor>16.0</valor> <data_hora>2014-04-01T14:16:45</data_hora> </registro> </dados> </log> </pre>	<pre> {"sensor": "Temperatura CPD", "dados": [{"valor": "16.8", "horario": "2014-04-01 12:26:38"}, {"valor": "17.2", "horario": "2014-04-01 12:31:39"}, {"valor": "16.0", "horario": "2014-04-01 12:36:39"}, {"valor": "17.2", "horario": "2014-04-01 13:06:41"}, {"valor": "16.4", "horario": "2014-04-01 13:11:41"}, {"valor": "17.2", "horario": "2014-04-01 13:16:41"}, {"valor": "17.2", "horario": "2014-04-01 13:21:42"}, {"valor": "15.6", "horario": "2014-04-01 13:26:42"}, {"valor": "17.6", "horario": "2014-04-01 13:31:42"}, {"valor": "17.2", "horario": "2014-04-01 13:36:43"}, {"valor": "16.0", "horario": "2014-04-01 13:41:43"}, {"valor": "18.0", "horario": "2014-04-01 13:46:43"}, {"valor": "15.6", "horario": "2014-04-01 13:51:43"}, {"valor": "17.6", "horario": "2014-04-01 13:56:44"}, {"valor": "16.0", "horario": "2014-04-01 14:01:44"}, {"valor": "16.8", "horario": "2014-04-01 14:06:44"}, {"valor": "17.2", "horario": "2014-04-01 14:11:45"}, {"valor": "16.0", "horario": "2014-04-01 14:16:45"}]} </pre>
a) Registros em formato XML.	b) Registros em formato JSON.

Figura 7. Dados reportados em formatos distintos.

Compartilhar dados em diferentes formatos permite que sistemas consumidores optem pela alternativa que seja mais adequada às suas necessidades. É importante mencionar que os formatos utilizados são suportados pela grande maioria das linguagens de programação.

6. Conclusões

Este trabalho apresentou uma arquitetura baseada no conceito de orientação a serviços para monitoramento e gerenciamento de redes de sensores em Cidades Digitais concebidas sobre a Infraestrutura de Redes Metropolitanas de Acesso Aberto.

A independência de plataforma e a possibilidade de gerenciamento de dispositivos heterogêneos em termos de *hardware* e *software* foram alcançadas através do uso de *Web services* em nível de comunicação. Com isso, diferentes sensores podem ser empregados para promover melhorias em serviços para um município. A arquitetura permite a centralização de informações de diferentes domínios, impondo aos administradores das redes somente a utilização de um navegador *Web* para realizar a gerência dessas.

Informações coletadas em tempo real podem ser compartilhadas em formatos flexíveis de dados através de *Web services*. A chave para melhorar serviços em um município é a tomada de decisão inteligente. Utilizar informações provenientes de diferentes domínios permite a definição de melhores estratégias para otimizar serviços.

A aplicação do sistema de monitoramento ambiental na cidade de Pedreira permitiu avaliar a proposta do trabalho. O sistema mostrou-se capaz de coletar e reportar dados para o usuário de maneira eficiente, além de permitir a gerência de ambiente e dos componentes da rede, igualmente, fornecer interfaces de acesso para sistemas externos.

Observamos que o modelo de arquitetura proposto neste trabalho vai além do contexto de Cidades Digitais, podendo ser empregado em situações onde exista diversidade de aplicações sendo monitoradas, bem como, cenários de larga escala.

Referências

Akyildiz, I.F.; Weilian Su; Sankarasubramaniam, Y.; Cayirci, E. (2002). "A survey on sensor networks", *Communications Magazine*, IEEE, vol.40, no.8, pp.102,114, Aug. doi:10.1109/MCOM.2002.1024422.

- Bartlett, D., Harthoorn, W., Hogan, J., Kehoe, M. & Schloss, R. (2011). "Enabling integrated city operations", *IBM Journal of Research and Development* 55(1.2), 15:1-15:10.
- Breda, G. D., Capucin, T. W., Mendes, L. D. S. & Zarpelão, B. B. (2011). "Applied Architectures to Brazilian's Open Access MAN's", *International Journal of Computer Science and Network Security* 11(9), 29-34.
- Digi, Digi International Inc. (2014). XBee ZB. Disponível em; <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module>. Acesso em 10 de abril de 2014.
- Digi, Digi International Inc. (2014). ConnectPort X2. Disponível em <http://www.digi.com/products/wireless-routers-gateways/gateways/connectportx2gateways>. Acesso em 10 de abril de 2014.
- Erl, T. (2008). SOA: Principles of service design, 1th edn, Pearson Education Inc.
- Gniadek, A., Li, Y., Lung, C.-H. & Wei, Q. (2008). "A web services-based Infrastructure for Traffic Monitoring using Zigbee", in *Sensor Technologies and Applications*, 2008. SENSORCOMM '08. Second International Conference on, pp. 562-567.
- Hernández-Muñoz, J. M., Vercher, J. B., Muñoz, L., Galache, J. A., Presser, M., Gómez, L. A. H. & Pettersson, J. (2011). *The future Internet*, in J. Domingue, A. Galis, A. Gavras, T. Zahariadis & D. Lambert, eds, The Future Internet, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, chapter "Smart Cities at the Forefront of the Future Internet", pp. 447-462. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1983741.198377>
- Hui, W. Q., Juan, B. L., Jun, P. Y. (2011). "Design of the Temperature Monitoring System based on ZigBee Wireless Sensor Network". *Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce* (AIMSEC), 2011 2nd International Conference on , vol., no., pp.4612,4615, 8-10 Aug.
- Juraschek, F., Zubow, A., Hahm, O., Scheidgen, M., Blywis, B., Sombrutzki, R., Gunes, M. & Fischer, J. (2012). "Towards Smart Berlin - an experimental facility for heterogeneous smart city infrastructures", in *Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops)*, 2012 IEEE 37th Conference on, pp. 886-892.
- Mendes, L. S., Bottoli, M. L., and Breda, G. D. (2010). "Digital Cities and Open MANs: A New Communications Paradigm". *IEEE Latin America Transactions*, 8(4):394-402.
- Pressman, R. S. (2009), *Software Engineer - A practitioner's approach*, 7th edn, McGraw-Hill.
- Suakanto, S., Supangkat, S., Suhardi & Saragih, R. (2013). "Smart city dashboard for integrating various data of Sensor Networks", in *ICT for Smart Society (ICISS)*, International Conference on, pp. 1-5.
- Vikatos, P., Theodoridis, E., Mylonas, G. & Tsakalidis, A. (2011). "PatrasSense: Participatory Monitoring of Environmental Conditions in Urban Areas Using Sensor Networks and Smartphones", in *Informatics (PCI)*, 2011 15th Panhellenic Conference on', pp. 392-396.
- W3C, W. W. W. C. (2004). "Web Services Architecture". Disponível em: <http://www.w3.org/TR/ws-arch/>. Acesso em 14 de fevereiro de 2014.
- Zhou, J., Chen, C. & Chen, L. (2013). "A small-scale traffic monitoring system in urban wireless sensor networks", in *Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2013 IEEE International Conference on, pp. 4929-4934.