

ARQUITETURA DE REFERÊNCIA PARA INTEGRAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO A SISTEMAS DE INFORMAÇÃO BASEADOS EM PADRÕES PARA SERVIÇOS WEB

WILIAN F. COSTA¹, FABIANA S. SANTANA², ANTONIO M. SARAIVA³,
CARLOS E. CUGNASCA⁴, JOSÉ PAULO MOLIN⁵

¹Cientista da Computação, Doutorando em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, wilianfc@gmail.com.

²Cientista da Computação, Prof. Adjunto, Centro de Matemática, Computação e Cognição, Universidade Federal do ABC, fabiana.santana@gmail.com.

³Engo Agrônomo e Eletricista, Prof. Titular, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, saraiva@usp.br.

⁴Engo Eletricista, Prof. Associado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, carlos.cugnasca@gmail.com, ⁵Engo Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, jpmolin@usp.br.

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2012
24 a 26 de setembro de 2012- Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A agricultura de precisão oferece suporte para a tomada de decisão e permite o gerenciamento das atividades em campo, a economia de insumos, o aumento da lucratividade e a redução de impactos ambientais. Para atingir esses objetivos, recomenda-se o uso de sistemas de informação. A avaliação de uma cultura ao final do seu ciclo pode ser tardia, pois eventuais correções somente poderão ser aplicadas no próximo ciclo de produção. A integração de Redes de Sensores Sem Fio – RSSF, aos sistemas de informação para agricultura de precisão permite o uso de informações *on line* para o monitoramento de culturas em tempo real, por meio da Internet. Esse trabalho apresenta uma arquitetura de referência para a construção de um sistema de informação capaz de atender essa necessidade, aplicando os padrões para serviços *web* definidos pelo W3C e pelo Open Geospatial Consortium, responsáveis pela definição de padrões para Internet e para o tratamento de dados geoespaciais, respectivamente. Para a avaliação da solução, foram escolhidas as RSSF da linha eKo, fornecidos pela empresa Memsic. Espera-se que os resultados também possam contribuir para a definição de formas eficazes para a integração de RSSF aos sistemas de informação para agricultura, a fim de permitir o uso de recursos *on line* e monitoração de culturas em tempo real.

PALAVRAS-CHAVE: monitoramento de culturas em tempo real, padrões de serviços geoespaciais, OGC *Sensor Web Enablement*.

REFERENCE ARCHITECTURE FOR INTEGRATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS TO INFORMATION SYSTEMS BASED ON WEB SERVICES STANDARDS

ABSTRACT: Precision agriculture provides support for decision making and enables management of field activities, inputs reduction, profitability increase, and environmental impacts reduction. Information systems are recommended to achieve these goals. The evaluation of a crop only at the end of its cycle may be too late, since any corrections can only be applied in the next production cycle. Integration of Wireless Sensor Networks – WSN to information systems for precision agriculture allows the use of online information for crop monitoring in real time, via the Internet. This paper presents a reference architecture for building an information system capable of meeting this requirement by applying the standards for web services defined by the W3C and the Open Geospatial Consortium, responsible for setting standards for the Internet and for geospatial data processing, respectively. The WSN eKo line provided by MEMSIC Corporation was chosen to evaluate the solution. The results may also contribute to the development of effective solutions for integrating

WSN to information systems for precision agriculture, so as to enable the use of online resources and real time crop monitoring.

KEYWORDS: real-time crop monitoring , standards for geospatial services, OGC Sensor Web Enablement.

INTRODUÇÃO: A Agricultura de Precisão (AP) permite o gerenciamento detalhado das lavouras e oferece aos produtores suporte para a tomada de decisão (MOLIN et al., 2006). Em geral, a AP requer a integração e análise de grandes quantidades de dados, que podem ser obtidos em diversos formatos e a partir de diversas fontes e provedores. Para suportar as decisões associadas à produção agrícola por meio da coleta, armazenamento, processamento e análise dos dados envolvidos em seus processos, recomenda-se o uso de tecnologia da informação (SARAIVA, 2003).

Em Murakami et al. (2007) foi introduzida a idéia e em Santana et al. (2011), foi apresentado um sistema de apoio à tomada de decisão em AP baseado em serviços *web* (*web services*) (MACKENZIE, 2006), no qual a integração dos dados ao sistema de informação foi feito por meio do uso de padrões de serviços definidos pelo W3C [www.w3.org] e pelo Open Geospatial Consortium, OGC [www.opengeospatial.org]. Esta solução, embora atenda os requisitos para os quais foi projetada, ainda não previa o monitoramento da cultura em tempo real a partir de dados obtidos *on-line* por Redes de Sensores Sem Fio – RSSF. Esses dados podem ser disponibilizados por meio da Internet e, dessa forma, acessados remotamente pelos especialistas (BENAVENTE et al. 2010).

Segundo Molin (2000), a avaliação de uma cultura ao final do seu ciclo pode ser tardia, pois eventuais correções somente poderão ser aplicadas no próximo ciclo de produção. Dessa forma, é fundamental que os sistemas de informação para a tomada de decisão em AP estejam preparados para incorporar os dados obtidos por meio dessas redes. Este trabalho mostra como os serviços OGC *Sensor Web Enablement* SWE podem ser incorporados aos sistemas propostos anteriormente, de forma que estes passem a oferecer uma infraestrutura capaz de integrar dados obtidos a partir de RSSF e serviços para utilizando interfaces interoperáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS: A necessidade de integração entre diferentes fontes de informação, como sistemas de informações geográfica, dispositivos (sensores, máquinas e equipamentos agrícolas), sistemas de geoposicionamento, *Enterprise Resource Planning* – ERP e sistemas legados, entre outros, pode ser endereçada com arquiteturas orientadas a serviços, *Service-Oriented Architectures* – SOA (MACKENZIE et al., 2006). SOA provê a infraestrutura necessária para contruir serviços integráveis e processar dados de uma ampla variedade de fontes. Para a implementação de SOA, recomenda-se a utilização de um barramento de serviços de negócio, *Enterprise Service Bus* – ESB (MACKENZIE et al., 2006), que recebe as requisições e invoca os serviços apropriados, de acordo com os fluxos de processamento de informações previamente programados, independente de sua localização geográfica, além de servir como plataforma para integração.

O uso de padrões permite construir sistemas de informação interoperáveis e capazes de prover independência entre provedores, aplicações e tecnologias. A interoperabilidade permite que um sistema se comunique com outro de forma transparente. Como uma solução para o problema de integração de dados em AP, destacam-se o uso de padrões relacionados aos serviços geoespaciais, onde os mapas representam visualizações de informações geográficas. Essas informações são representadas por características, ou *features*, associadas a pontos na Terra e representações do mundo real. Essas *features* podem ser visualizadas na forma de dados vetoriais ou *raster*. Para armazenamento destes tipos de dados, os sistemas gerenciadores de banco de dados (BD) devem ter suporte ao tratamento de dados geoespaciais. A construção de serviços Web geoespaciais deve se basear nos padrões definidos pela OGC para a troca e correta representação destes dados.

Além de outros padrões relacionados a serviços, envolvendo a publicação, localização e conexão com os mesmos (Ex. SOAP, UDDI), os serviços utilizados na solução proposta em Santana et al. (2011) são: 1) *Web Map Service* – WMS, para exibição de mapas; 2) *Web Feature Service* – WFS, e *Web Coverage Service* – WCS, para acesso a dados; 3) *Web Processing Service* – WPS, para a orquestração de processos.

A comunicação com as redes de sensores deve ser feita por meio da especificação *Sensor Web Enablement* – SWE, incorporados à infraestrutura na solução proposta por esse trabalho. O objetivo do OGC SWE é permitir que todos os tipos de redes de sensores, instrumentos e dispositivos de imagem

possam ser acessados e, quando aplicável, também controlados utilizando os serviços web e definições de metadados para caracterização de sensores. Desta forma, define e aprova fundamentos para um padrão *plug-and-play* para tipos genéricos de sensores e dispositivos.

Os serviços relevantes para a proposta desse trabalho são: 1) *Sensor Observation Service*, SOS: interface de serviço *web* para requisitar, filtrar e recuperar observações e informações dos sistemas de sensores; 2) *Sensor Planning Service*, SPS: interface para tarefas ou modelos aplicados a sensores, de forma que, através do SPS, os sensores possam ser reprogramados ou calibrados, as suas configurações possam ser iniciadas ou alteradas, e modelos de simulação possam ser executados e controlados. A viabilidade de uma tarefa pode ser verificada e as alternativas podem ser fornecidas. A extensão OGC SPS para Tarefas de Satélites de Observação da Terra, ou *Earth Observation*, suporta o processo de programação de sistemas sensores de observação da terra utilizada por diversos provedores de dados de satélite; e 3) *Sensor Event Service*, SES: interface de serviço web para a publicação e assinatura de alertas dos sensores, onde a ocorrência de eventos gera a publicação de dados e os consumidores interessados nos dados dos sensores podem se inscrever em eventos publicados pelo SES.

Para a avaliação da solução, inicialmente em laboratório e depois em campo, foram escolhidos as RSSF da linha eKo, fornecidos pela Memsic Corporation (MEMSIC, 2012). Como solução para a disponibilização do serviço SOS foi adotada a implementação do grupo 52°North Initiative for Geospatial Open Source Software GmbH [<http://52north.org/communities/sensorweb/sps/1.0.0/index.html>]. Atualmente (agosto de 2012) ferramentas implementando os padrões SPS e SAS ainda não estão disponíveis por estarem em fase de especificação e desenvolvimento inicial. Por este motivo, testes com os padrões SPS e SAS não foram executados neste trabalho, sendo postergados para execução em trabalhos futuros.

Neste experimento foram utilizados os sensores eS1201 – *Ambient Temperature and Humidity*, eS1401 – *Solar Radiation*, eS1110 – *Soil Water Content*, eS1301 – *Leaf Wetness*, eS1100 – *Soil Moisture* e eS2000 – *Weather Station Suite* conectados fisicamente a uma das 4 portas de cada nó eN2100. Este por sua vez comunica-se com a radio base eB2110 via IEEE 802.15.4 (ZigBee) conectada via porta USB a um *gateway EG2100 (Cisco NSLU2 rodando Debian)* responsável por conectar com a rede Ethernet 100 Mbit/s, acesso e configuração interna via interface web proprietária, armazenamento em BD interno (Sqlite3), leitura via fluxo de dados (*data stream*) em XML, compartilhamento de dados via Samba (SMB/CIFS) e acesso Secure Shell (SSH).

A Figura 1 apresenta o conjunto e alguns sensores, onde os nós são os dispositivos amarelos maiores caracterizados por possuírem um painel solar e antena protegidos por uma cobertura acrílica translúcida. Para a geração dos dados os sensores foram posicionados ao longo de um talhão experimental localizado na região delimitada pelas coordenadas geográficas (-47,6288486683385 -22,7137248397858; -47,6281142819693 -22,7128270700532) situado dentro do campus da ESALQ na cidade de Piracicaba-SP no período de 16/11/2012 à 03/02/2012 como representado na Figura 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Trabalhos envolvendo a aplicação de RSSF em agricultura (TORRE NETO, 2009; BENAVENTE et al. 2010) indicam que as condições para o monitoramento de culturas em tempo real tendem a se propagar por meio do uso dessas redes. Entre as principais aplicações para as RSSF citadas por Torre Neto (2009), destacam-se: 1) A irrigação espacialmente diferenciada; 2) A pulverização de precisão; 3) O mapeamento da fertilidade do solo; 4) A rastreabilidade vegetal e animal; e 5) As mudanças climáticas e os problemas fitossanitários. Dessa forma, é fundamental que os sistemas de informação para AP estejam preparados para incorporar essas redes. Um dos principais desafios para a construção de um sistema de informação para o problema apresentado nesse trabalho é propor uma arquitetura de referência capaz de atender os requisitos de integração de dados heterogêneos, que ofereça suporte para a integração de dados de campo e atenda as demais necessidades dos sistemas de informação relacionados à AP (SANTANA et al., 2011). O sistema de informação proposto nesse trabalho está baseado na arquitetura proposta na Figura 3. Através de um navegador web (*web browser*), o usuário do sistema acessa um portal, construído de acordo com os padrões Java para Portlets (JSR 168, JSR 286 e WSRP). O portal acessa o gerenciador de serviços ESB, que deve invocar os serviços necessários para atender as requisições dos usuários, incluídos os serviços definidos pelos padrões OGC (*OGC web services*), os serviços de dados geospaciais (*spatial databases*) e outros serviços para tomada de decisão em AP (SANTANA et al.,

2011). Os serviços *Sensor Web Enablement*, SWE, definidos pelo OGC, têm o objetivo de permitir que todos os tipos de redes de sensores, instrumentos e dispositivos de imagem sejam acessíveis e, quando aplicável, controláveis através da Internet. Os serviços OGC SWE acessam as RSSF (*Wireless Sensor Networks*) para a obtenção de dados e, quando aplicável, o gerenciamento dos mesmos, através dos padrões definidos pelo OGC.

A Figura 4 apresenta esquematicamente como pode ser feita a integração entre as leituras dos sensores e o serviço SOS em uma arquitetura SOA. Os dados captados pela rádio base eB2110 armazenados no banco de dados sqlite3 interno ao gateway podem ser exportados periodicamente por um *script* inserido no agendador (*crontab*) do Gateway e coletados via compartilhamento Samba ou FTP acessado pelo ESB. Estes dados também podem ser inseridos em um banco de dados espacial (neste caso PostgreSQL + PostGIS [<http://www.postgresql.org/>]) do servidor SOS, utilizando um serviço Web programado efetuar o *parsing* das mensagens obtida via *stream* XML. O acesso de *stream* de dados é acessível através de conexão com a porta TCP 9005 do gateway eKo. O serviço Web para *parsing* também pode ser chamado dentro de um *workflow* no ESB para inserir as observações via chamada *InsertObservation* no serviço SOS. Neste trabalho utilizamos a integração pela exportação de dados BD do gateway. Na Figura 5 apresentamos uma resposta a consulta *GetCapabilities* submetida ao serviço http://143.107.164.104:8080/52nSOSv3_WAR/sos. Na Figura 6 são apresentados os gráficos dos dados de 3 sensores de temperatura eS1201, coletados no período de 01/02/2012 12:00 à 03/02/2012 08:00 visualizados através da aplicação 52°North Sensor Web Client 2.0.

Para a publicação dos sensores, uma descrição em SensorML de cada dispositivo deve estar disponível para acesso interno do servidor SOS, sendo assim, estes arquivos foram gerados a partir de funções programadas no PostgreSQL para consultar e gerar o XML baseado nos dados coletados e em parâmetros inseridos para cada sensor registrado. Na Figura 7 temos um exemplo de um dos arquivos SensorML gerados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: Soluções baseados em serviços *web* são adequadas para a AP porque permitem endereçar as diversas necessidades de integração dos dados obtidos a partir de máquinas e equipamentos em campo. A evolução de sistemas de informação construídos com a tecnologia apresentada nesse trabalho depende principalmente da implementação e publicação de novos serviços *web*, que podem ser integrados de forma transparente e praticamente ilimitada, desde que as necessidades de hardware e infraestrutura sejam atendidas. A adoção de padrões permite a interoperabilidade e é especialmente importante no caso de RSSF, pois os dados devem estar adequados aos padrões de georreferenciamento para que possam ser utilizados adequadamente. Dessa forma, a solução apresentada nesse trabalho permite a incorporação de novas funcionalidades de interesse ao sistema proposto, a fim de acompanhar a evolução da tecnologia em AP. Em particular, essa solução permite o monitoramento em tempo real de culturas em campo a partir de dados obtidos a partir de RSSF, aumentando significativamente a relevância do sistema de informação proposto para a AP. Além de apresentar uma solução para um problema específico, espera-se que os resultados desse trabalho também possam contribuir, via a aplicação de padrões bem estabelecidos em tecnologia da informação, para a definição de formas eficazes para a integração de RSSF aos sistemas de informação para tomada de decisão na agricultura.

REFERÊNCIAS

- BENAVENTE, J.C.C.; CUGNASCA, C.E.; SANTOS, H.P. Um estudo da variabilidade microclimática em um vinhedo cultivado sob cobertura plástica mediante o uso de uma rede de sensores sem fio. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - CONBAP 2010, **Anais ...** 2010, Ribeirão Preto, 2010. v.1. p.1-9.
- MACKENZIE, C. M.; LASKEY, K.; MCCABE, F.; BROWN, P. F.; HAMILTON; METZ., R. Oasis Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0. 2006.
- MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A.; GIÚDICE M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE,

F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237-258.

MOLIN, J. P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N.; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26-3, p.759-767, set./dez. 2006.

MURAKAMI, E. SARAIVA, A.M., RIBEIRO L.C.M., CUGNASCA, C.E., HIRAKAWA, A.R., CORREA, P.L.P. An infrastructure for the development of distributed service-oriented information systems for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.58-1, p.37-48, ago. 2007.

SANTANA, F. S.; SARAIVA, A. M.; MOLIN, J. P.; COSTA, W. F. Projeto de um sistema de apoio à tomada de decisão em agricultura de precisão usando web services e sistemas de informação geográfica. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011, **Anais ... 2011**, Cuiabá, MT, Brasil, 24 a 28 de julho 2011.

TORRE NETO, A. Rede de sensores sem fio e computação ubíqua na agropecuária. **EMBRAPA, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 31**. ISSN 1678-0434. Novembro, 2009.



FIGURA 1: Sensores MEMSIC eKo Pro Series System.
Fonte: <http://www.memsic.com/products/wireless-sensor-networks/environmental-systems.html>

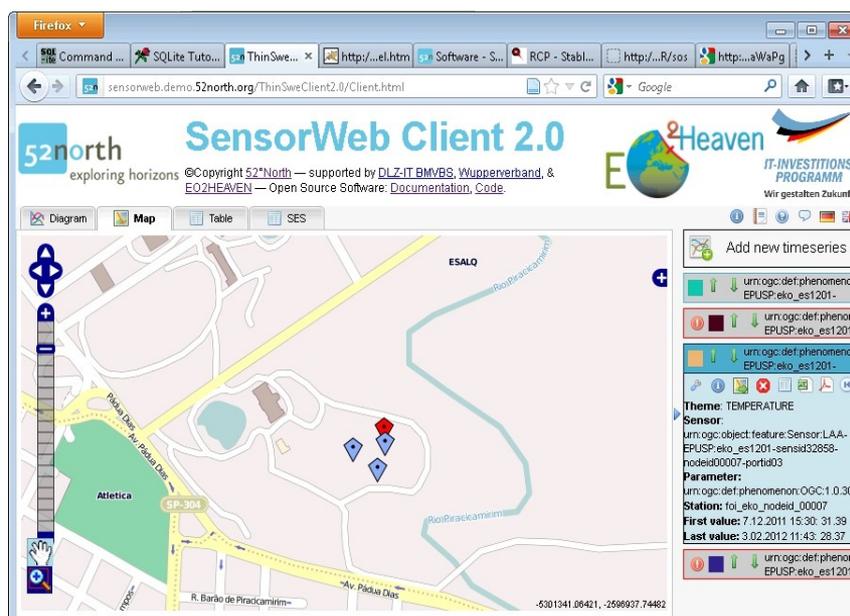


FIGURA 2: Visualização do posicionamento dos sensores de temperatura utilizando a aplicação 52°North Sensor Web Client 2.0
[<http://sensorweb.demo.52north.org/ThinSweClient2.0/Client.html>]

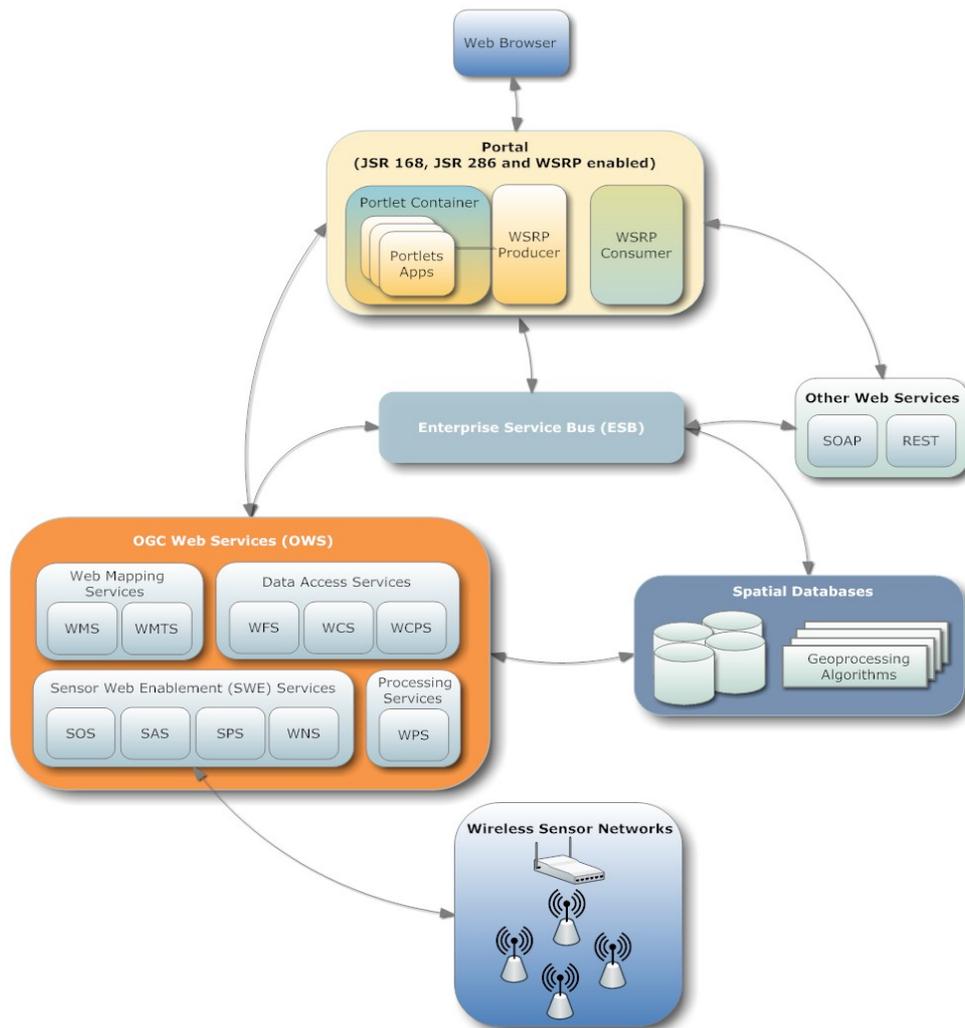


FIGURA 3: Arquitetura de referência para um sistema de informação baseado em serviços para a integração de dados obtidos a partir de RSSF.

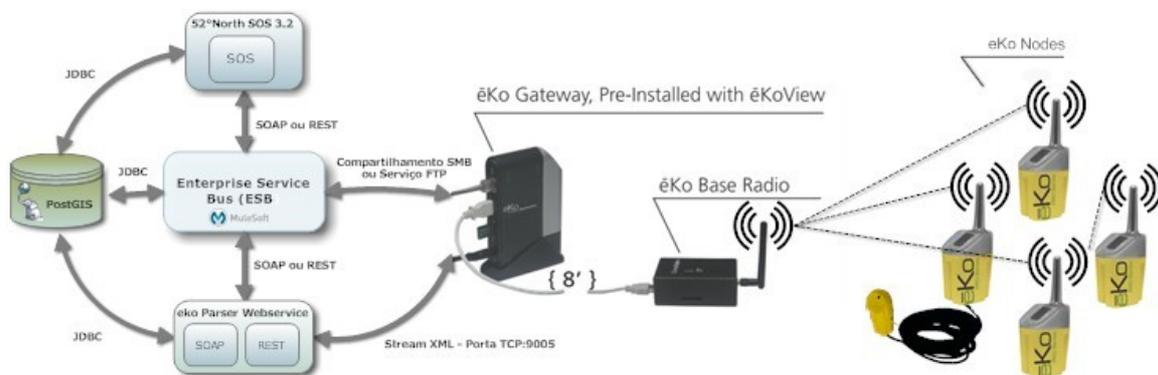


FIGURA 4: Possibilidades de integração dos sensores MEMSIC eKo em uma arquitetura SOA

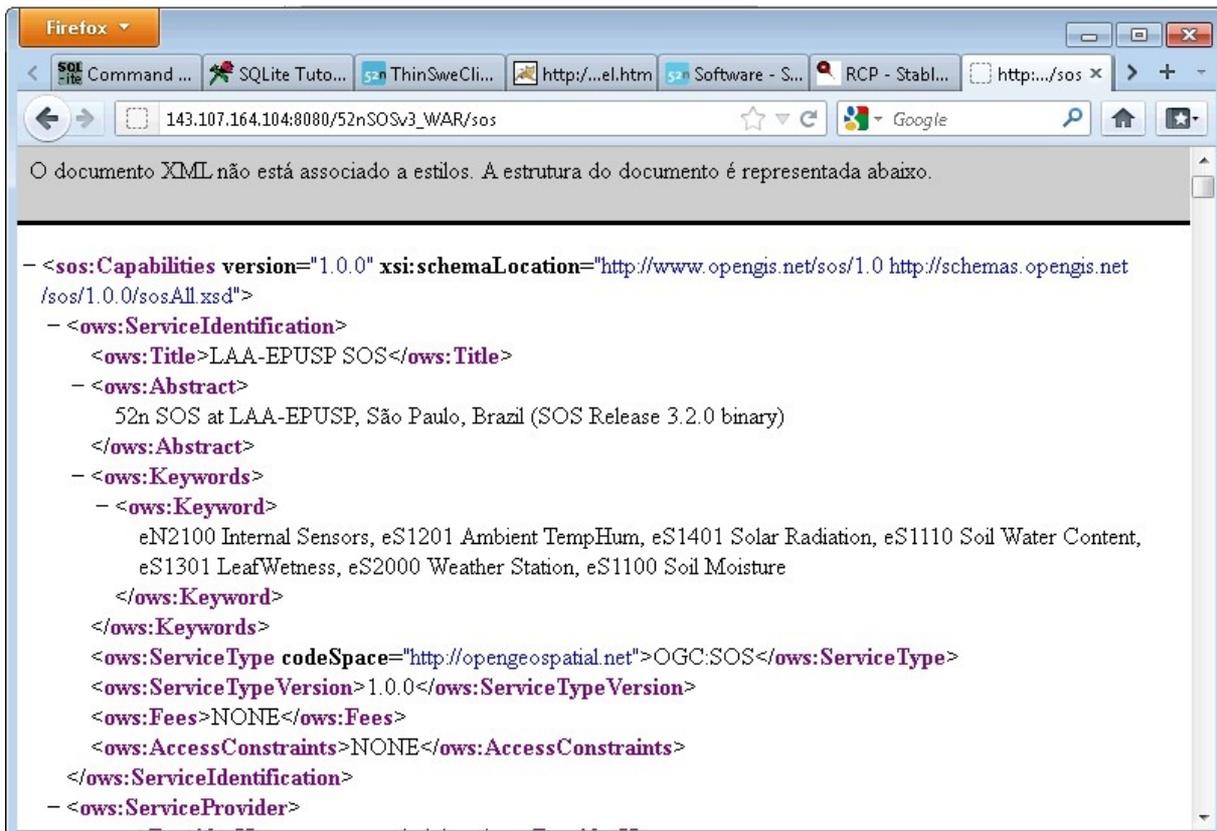


FIGURA 5: Resposta a requisição GetCapabilities ao serviço OGC-SOS.

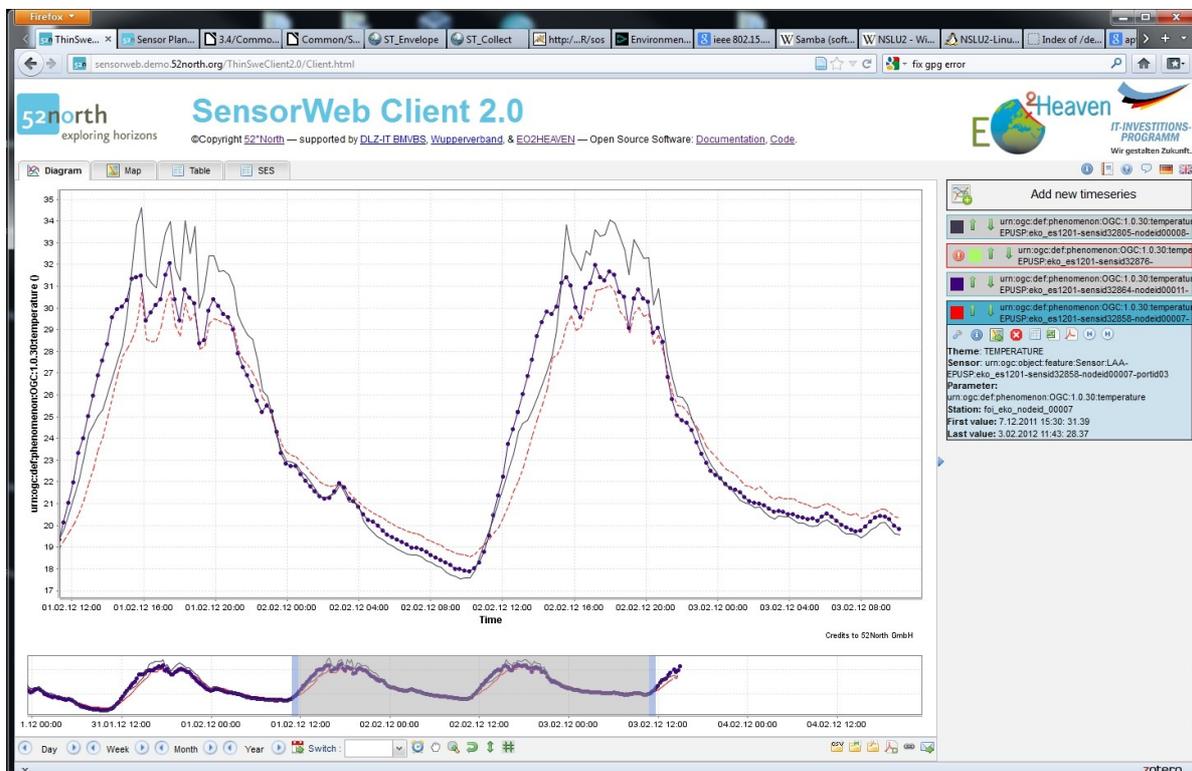


FIGURA 6: Visualização dos dados dos sensores MEMSIC eKo publicados no serviço SOS via 52°North Sensor Web Client 2.0.

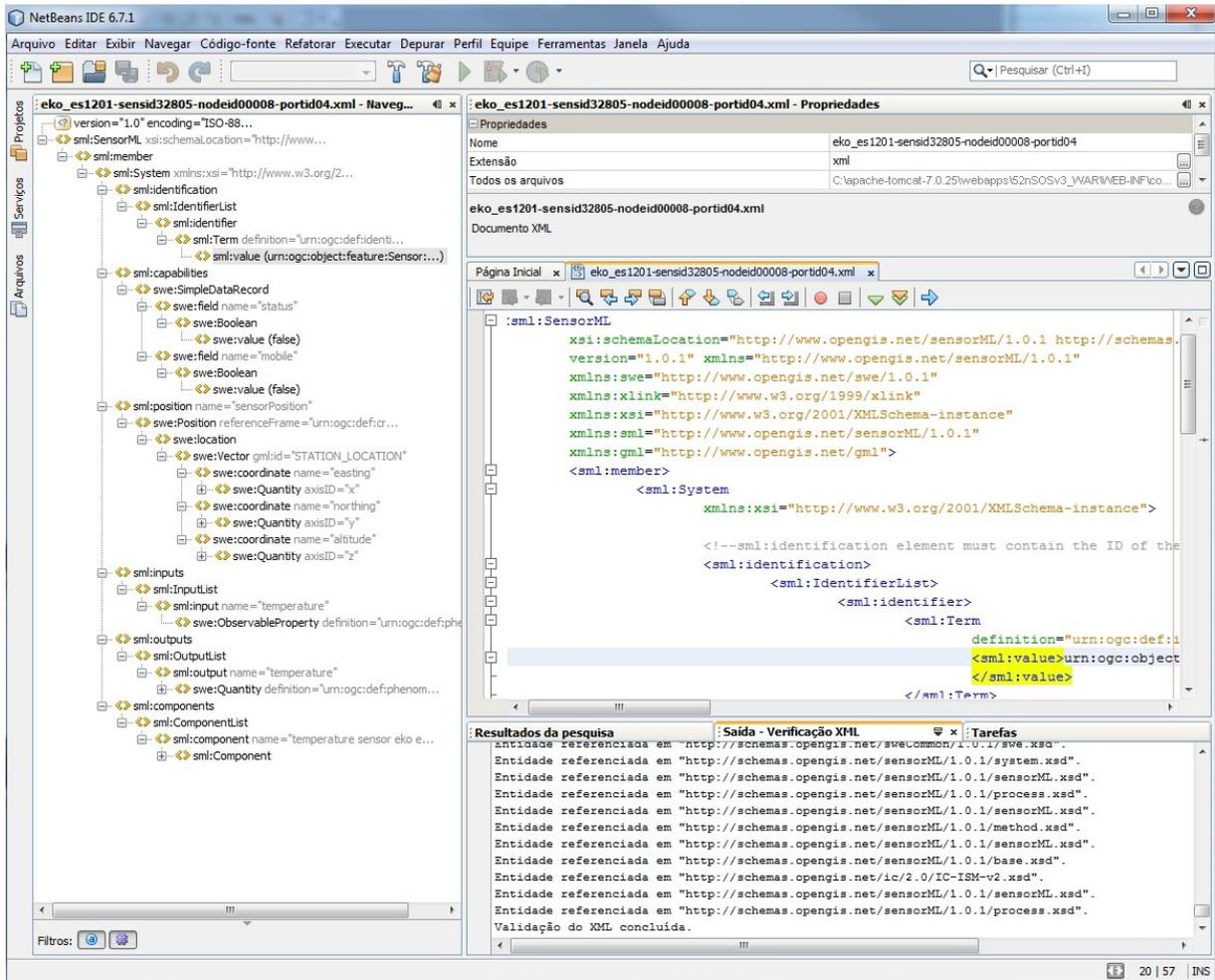


FIGURA 7: Exemplo de arquivo SensorML para descrição dos sensores publicados no serviço SOS