

## Desenvolvimento de um medidor de umidade e pluviometria baseado em uma arquitetura de sensoriamento remoto sensível ao contexto para agricultura de precisão

Rafael Bouffleuer<sup>1</sup>, Bruno Romero de Azevedo<sup>1</sup>, Alfredo Del Fabro Neto<sup>1</sup>, João Carlos D. Lima<sup>2</sup>, Iara Augustin<sup>1</sup>, Mirta Teresinha Petry<sup>3</sup>, Reimar Carlesso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Informática

<sup>2</sup>Departamento de Linguagens e Sistemas de Computação

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Rural

Universidade Federal de Santa Maria(UFSM)  
CEP 97105-900 – RS – Brasil

{rafabouffler,alfredodfn}@redes.UFSM.br, {brunodea, august, caio}@inf.UFSM.br  
{carlesso, mirta}@ccr.ufsm.br

**Abstract.** *Irrigation techniques assist in increasing agricultural production. However, it is responsible for the consumption of about 70 % of the available water in the world. Without proper management, the irrigation may be harmful to the environment and endanger sustainability. This paper presents two prototypes of a moisture and raingauge meter based on a context-aware remote sensing architecture using open hardware technologies. Furthermore, it proposes a context taxonomy that defines the types of information that are used in the architecture of the prototypes.*

**Resumo.** *As técnicas de irrigação auxiliam no aumento da produção agrícola. Entretanto, são responsáveis pelo consumo de cerca de 70% da água disponível no mundo. Sem um manejo adequado, a irrigação pode ser prejudicial para o meio ambiente e colocar em risco a sustentabilidade. Este artigo apresenta dois protótipos de um medidor de umidade e pluviometria baseado em uma arquitetura de sensoriamento remoto sensível ao contexto utilizando tecnologias open hardware. Além disso, é proposta uma taxonomia de contextos que define os tipos de informações que são utilizadas na arquitetura dos protótipos.*

### 1. Introdução

A agricultura é a maior consumidora de água em nível mundial (mais de 70 %), fazendo com que o elemento água seja, ao mesmo tempo, o fator mais abundante e o mais limitante ao rendimento das culturas. Considerando que a irrigação ocupa a maior porcentagem da água consumida na agricultura, e o Brasil pretende expandir consideravelmente a sua área irrigada nas próximas décadas [IICA 2008], há uma crescente necessidade de melhorar o manejo da água de irrigação [Rodrigues and Pereira 2009], principalmente em regiões com reduzida disponibilidade de água ou ocorrência de períodos de deficiência hídrica. Por isso, o incremento de tecnologias na realização da irrigação utilizando-se de informações referentes ao ambiente, estão tornando-se importantes por permitirem a maximização

do uso da água e energia, mantendo, ou mesmo melhorando, o rendimento e a qualidade da produção agrícola em diversas regiões do mundo. Portanto, é importante a utilização de sistemas computacionais que tenham a capacidade de capturar e processar os dados de contexto disponíveis no ambiente, agindo e reagindo a estímulos dos mesmos, chamados de sistemas sensíveis ao contexto [Lima 2013].

Existem diversas definições para o que é contexto: Em Augustin et al.(2004) contexto é "toda a informação relevante para a aplicação, que pode ser obtida por ela mesma". Dey et al.(2000) considera contexto como "qualquer informação que pode ser utilizada para caracterizar a situação de uma entidade. Uma entidade é uma pessoa, um lugar ou um objeto que é considerado relevante para a interação entre o usuário e a aplicação, incluindo o próprio usuário e a aplicação". Neste sentido, é importante a implementação de novas arquiteturas que possibilitem a utilização destas informações de contexto também no campo.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2, são apresentados os principais conceitos relacionados à irrigação na agricultura, e a sua importância para o aumento da produção agrícola. Na seção 3, é apresentada a importância do sensoriamento remoto, e alguns componentes que são utilizados no presente artigo. A arquitetura e a taxonomia de contextos são explicadas na seção 4. A seção 5 faz uma breve comparação com alguns trabalhos relacionados e a seção 6 apresenta a conclusão e trabalhos futuros.

## **2. Irrigação na Agricultura**

A necessidade de irrigação é determinada pelo requerimento hídrico das culturas durante o ciclo de desenvolvimento. A determinação exata do consumo de água pelas plantas é tarefa difícil, e implica em melhorar as metodologias existentes para a sua obtenção, isto é, melhorar os métodos de estimativa da evapotranspiração das culturas (ETc). A ETc pode ser estimada a partir da evapotranspiração de uma cultura de referência (ETo), calculada por meio de dados meteorológicos da região e de um coeficiente relativo à cultura, chamado de coeficiente de cultura (Kc). Dentre as etapas para evitar o desperdício de água e aumentar a eficiência da irrigação está a programação da irrigação, isto é, a determinação de quando e quanto irrigar. A irrigação em excesso, de forma deficiente ou no momento inadequado pode comprometer a produção [Doorenbos et al. 1979] e interferir negativamente na produtividade da terra e da água [Rodrigues and Pereira 2009].

Os critérios utilizados para definir quando irrigar e quanta água aplicar são baseados em parâmetros agronômicos das culturas irrigadas (área foliar, altura de plantas), em características do solo (capacidade de armazenamento de água disponível, tipo de solo) e características do clima [Carlesso et al. 2009]. Atualmente, existe um crescente interesse no controle da irrigação através do uso de dados meteorológicos. Entretanto, o manejo da irrigação a partir de dados meteorológicos implica que estes sejam representativos de uma propriedade ou região e que sejam diariamente coletados. De acordo com Elliott et al. (2000), uma importante aplicação dos dados meteorológicos em tempo real é a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para diferentes culturas ou regiões de abrangência e, quando associadas a um software para irrigação programada, essas informações podem levar a um significativo avanço no manejo da água de irrigação. A ETo é um parâmetro climático e pode ser calculado a partir de dados meteorológicos, pois expressa a demanda evaporativa da atmosfera de um local específico, independente

da época do ano e características do solo e cultura. O método de Penman-Monteith é o recomendado pela FAO [Allen et al. 1998] para a determinação da  $E_{To}$ , porque seu valor é muito próximo da evapotranspiração de referência da grama em seu local de avaliação, possui embasamento físico e incorpora tanto os parâmetros fisiológicos como os aerodinâmicos. Notadamente, a evapotranspiração de referência difere significativamente da evapotranspiração das culturas em geral. Por isso, a evapotranspiração de uma cultura qualquer ( $E_{Tm}$ ) é calculada multiplicando-se a  $E_{To}$  por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ).

Na agricultura, a aquisição automática de dados tem favorecido o monitoramento de variáveis ligadas à planta, ao solo e ao planejamento da atividade agrícola, às quais estão direta ou indiretamente ligadas as melhorias na eficiência dos sistemas de produção como um todo. Uma importante ferramenta recentemente incorporada ao processo é a estação meteorológica automática, cuja principal vantagem é a frequência dos registros diários, o armazenamento dos dados medidos e a possibilidade de transmissão desses para visualização em tempo real. Além disso, a coleta, o armazenamento e transmissão automática de dados diminuem os erros oriundos de leitura, interpretação e digitação desses dados [Carlesso et al. 2009]. Estações meteorológicas podem ser encontradas dentro das propriedades como parte do sistema produtivo, ou fazendo parte de redes de estações públicas (INMET, 2014) ou particulares (Sistema Irriga®).

Para o cálculo da  $E_{To}$  e posterior estimativa da  $E_{Tc}$ , é possível obter grande precisão com dados representativos de uma região, ou seja, uma estação meteorológica pode fornecer dados para o cálculo da  $E_{To}$  em tempo real para uma área de mais de 50 km de extensão em diâmetro. A estimativa da  $E_{Tc}$  ou do balanço hídrico em nível de parcela irrigada, a exemplo de um pivô central, traz consigo variações importantes, principalmente devido a variação da umidade do solo e do regime de chuva, fator esse de fundamental importância no balanço hídrico. A distribuição das chuvas é variável no tempo e no espaço, causando um desequilíbrio no conteúdo de água no solo, dentro de uma micro-região ou mesmo de uma área irrigada. Assim, melhorar a estimativa da  $E_{Tc}$  implica em monitorar às variáveis que afetam a  $E_{Tc}$  em nível de parcela irrigada, ou seja, através do monitoramento da umidade do solo e das precipitações pluviais em tempo real. Assim, com medidores de umidade e pluviometria, contendo sensores de umidade e temperatura do solo e de um pluviômetro, pode-se determinar o balanço hídrico em tempo real, ao mesmo tempo, em vários pontos de uma mesma propriedade ou região.

### 3. Sensoriamento remoto

Diversas tecnologias estão sendo utilizadas para aumentar a produção agrícola e diminuir o impacto que a mesma causa no meio ambiente. A irrigação na agricultura juntamente com as tecnologias de sensoriamento remoto vem sendo utilizadas buscando estes objetivos. Através do sensoriamento remoto, é possível a obtenção e interpretação de dados a distância, possibilitando o aprimoramento do controle da produção agrícola [Liaghat and Balasundram 2010].

#### 3.1. Sensores

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico/químico ou de algum processo tal como, calor, pressão ou movimento, de maneira específica e mensurável [Ahmed 2013]. Nos medidores de umidade e pluviometria propostos, são utilizados sensores para medição da temperatura e umidade do solo e um pluviômetro para verificar a

precipitação. Para mensurar a umidade do solo, são utilizados pelo menos dois sensores para que seja realizada a medição em diversas camadas do solo, sendo utilizados sensores resistivos e capacitivos [Ahmed 2013]. Os sensores resistivos normalmente são de baixo custo e instantâneos na medição do nível de umidade do solo. Estes sensores medem os níveis de umidade baseados na resistência elétrica do solo. A medida que o nível de água aumenta no solo, a resistência do metal utilizado diminui, ou seja, a condutância do metal aumenta. Entre os sensores resistivos, outro modelo utilizado é o do bloco resistivo, que é utilizado para medir a tensão da água no solo. O Sensor de Umidade de Matrix Granular (GMS) é um exemplo de bloco resistivo e, tem como vantagens o baixo custo e simples operação, necessitando de pouca manutenção. Por outro lado, apresenta um tempo de reação lenta, por serem cumulativos. O sensor utilizado com estas características é o sensor Watermark 200SS [Irrrometer 2014].

Com os sensores capacitivos, a umidade do solo é determinada pela medição da constante dielétrica do solo que é ligada aos teores de umidade do solo. Por isso, a medida que a umidade do solo muda, a constante dielétrica também se altera. As técnicas mais utilizadas para este tipo de medição são a reflectometria no domínio do tempo (TDR) e a reflectometria no domínio da frequência (FDR), e ambas utilizam a propriedade capacitiva para medir o nível de umidade no solo [Ahmed 2013]. Os sensores VH400 [Vegetronix 2014] e Decagon 10HS [Decagon 2014] medem a constante dielétrica do solo para calcular a umidade do solo, e possuem um consumo de energia relativamente baixo. Alguns dos sensores utilizados neste artigo podem ser observados na figura 4.

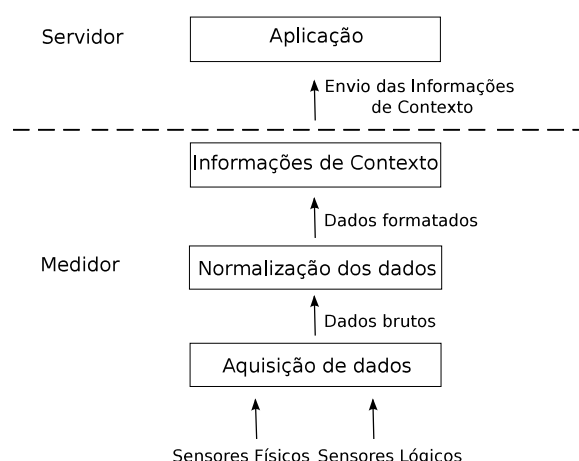
### 3.2. Transmissão de dados e *Open Hardware*

Independentemente das técnicas de irrigação utilizadas, os sistemas de irrigação normalmente estão distantes das cidades, com infra-estrutura de telecomunicação limitada e com serviços de alto custo. Isso dificulta a maioria dos agricultores a realizar o monitoramento e controle remoto dos sistemas de irrigação [Mills et al. 2013]. Entretanto, com a utilização de tecnologias de transmissão de dados como a GPRS (*General Packet Radio Service* - Serviços Gerais de Pacote por Rádio), juntamente com a rede GSM (*Global System for Mobile Communication* - Sistema Global para Comunicações Móveis), é possível realizar a transmissão de dados no campo com um relativo baixo custo. Para o protótipo proposto é utilizada uma placa GSM/GPRS SIM 900.

*Open Hardware* é um conceito que permite compartilhar a estrutura de objetos físicos ou eletrônicos para a comunidade de uma forma semelhante ao *Software Open Source*, permitindo a todos o uso e a modificação [Harnett 2011]. Uma solução *Open Hardware* que é utilizada neste artigo é a plataforma Arduino. O Arduino é uma plataforma de prototipagem que está sendo utilizada em projetos de sensoriamento, que possibilita a obtenção de informações de diversos tipos de sensores do ambiente.

## 4. Arquitetura e Taxonomia de Contextos

A arquitetura proposta neste artigo se baseia nas duas camadas inferiores do *middleware* sensível ao contexto proposto por Del Fabro Neto et al. (2013), sendo representadas neste trabalho respectivamente como as camadas de Aquisição de dados e Normalização de dados [Del Fabro Neto et al. 2013]. Porém, além de estender este *middleware*, são incorporadas mais duas camadas: Informações de Contexto e Aplicação. Nas próximas subseções, serão introduzidas as camadas da arquitetura proposta (Figura 1).



**Figura 1. Arquitetura proposta.**

#### 4.1. Aquisição e normalização de dados

O principal objetivo da camada de *Aquisição de dados* é a coleta de dados, tanto dos sensores físicos, quanto dos sensores lógicos. Os dados referentes aos sensores lógicos podem ser coletados por alguma outra fonte de informação de contexto que não seja dos sensores físicos (e.g., informações de data coletadas de um RTC (*real-time clock*)). Estes dados coletados são repassados para a camada Normalização dos dados.

A camada *Normalização de dados* é responsável pela formatação dos dados brutos em um formato definido para a utilização nas camadas superiores. A camada normalizadora de dados necessita conhecer o formato das mensagens recebidas provenientes de sensores que podem ser de diferentes fabricantes e tipos. Dessa forma, para acoplar um sensor de um novo tipo, fabricante ou modelo (i.e., informações não reconhecíveis pela camada Normalização de dados), é necessário que seja desenvolvido um *parser* específico para obter as informações fornecidas pelo sensor. Após esta formatação, estas informações devem ser armazenadas (e.g., cartão de memória SD ou EEPROM).

#### 4.2. Informações de Contexto

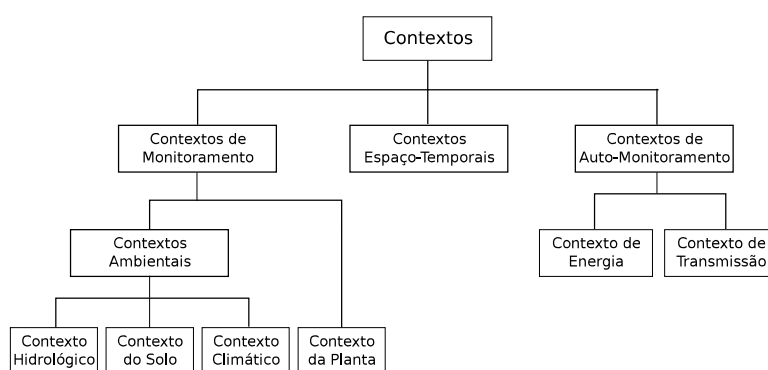
A camada *Informações de Contexto* é responsável por receber os dados formatados da camada de Normalização de Dados, e de realizar uma inferência nestes dados para definir a qual sensor estes dados são referentes. Esta inferência é feita através de uma análise no padrão e nos tipos de dados que a camada recebe. Posteriormente, é realizada a classificação dos dados em informações de contexto, bem como o seu armazenamento (e.g., cartão de memória SD ou EEPROM) para manter um histórico das informações. Estas informações podem ser classificadas de diversas formas, sendo divididas em três categorias principais: Contextos de Monitoramento, Contextos Espaço-Temporais e Contextos de Auto-Monitoramento (Figura 2).

No componente de Contextos Espaço-Temporais são classificadas todas as informações de data e hora coletadas, bem como de informações de localização da área cultivada. Estas informações são importantes para a determinação de quando e onde um evento aconteceu. Já o contexto de Monitoramento é dividido em diversos Contextos Ambientais: Contexto Hidrológico, Contexto do Solo e Contexto Climático. No Contexto

Hidrológico, as informações são referente aos dados coletados pelos sensores de pluviometria, o Contexto do Solo é representado pelas informações de umidade e temperatura do solo e no Contexto Climático têm-se a temperatura do ambiente. Os contextos ambientais permitem a descrição das diversas fontes de informação que podem ser obtidas, e que são importantes para o cálculo da evapotranspiração de cada local. No Contexto de Monitoramento, ainda pode ser inserido um componente para representação das informações de Contexto da Planta (e.g., coeficiente da planta cultivada ( $K_c$ )). O  $K_c$  é uma relação entre a  $E_{Tc}$  e a  $E_{To}$ . Logo, com a medição da umidade do solo, pode-se estimar o  $K_c$  diário pela variação do conteúdo de água no solo num período de 24 horas.

O Contexto de Auto-Monitoramento é dividido em Contexto de Energia, onde são classificadas todas as informações referentes a utilização de energia por equipamentos (e.g., carga da bateria), e no Contexto de Transmissão, onde as informações são referentes as datas e aos tempos de transmissão de dados. Os contextos de Auto-Monitoramento permitem que o próprio sistema verifique se algum problema aconteceu ou poderá acontecer. Por exemplo: bateria com carga baixa ou a detecção de falhas no envio de dados em um determinado período. Já os componentes Contextos de Monitoramento e Contextos de Auto-Monitoramento, foram organizados a partir da classificação das informações que são coletadas do campo.

A taxonomia foi criada de uma forma genérica, para que seja possível a inclusão ou alteração dos componentes existentes. Por exemplo, dentro do Contexto do Solo, podem ser definidos os diversos tipos de solos juntamente com suas características/propriedades, para que as plantas possam ser cultivadas de forma correta, e a irrigação ocorra de forma precisa em cada tipo de solo. Outra opção, é a inclusão de novos componentes de contexto. Posteriormente, é realizado o envio das informações formatadas para o servidor utilizando alguma tecnologia de transmissão de dados (e.g., GPRS).



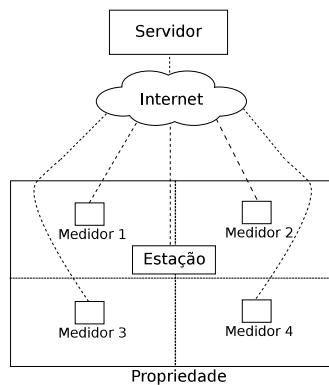
**Figura 2. Taxonomia de Contextos.**

### 4.3. Aplicação

A camada *Aplicação* fica no servidor, e é responsável por receber as informações da camada Informações de Contexto e efetuar o cálculo da  $E_{To}$  da propriedade, além de disponibilizar as informações de alguma forma que facilite o monitoramento das mesmas (e.g., gráficos). Porém, esta camada não faz parte do escopo deste trabalho.

#### 4.4. Funcionamento da Arquitetura Proposta

A figura 3 ilustra o funcionamento da arquitetura apresentada neste artigo. No exemplo, existe uma estação meteorológica no centro da propriedade, e quatro medidores de umidade e pluviometria que estão localizados em regiões distintas da propriedade. A estação meteorológica normalmente coleta dados que representam toda a propriedade, para determinação da ETo e da quantidade de água que deve ser utilizada para a irrigação, não levando em consideração as características de cada região. Com a utilização de diversos medidores de umidade e pluviometria, os dados referentes a umidade e temperatura do solo e da pluviometria de cada região da propriedade podem ser medidas de forma separada, permitindo uma irrigação localizada e precisa. A estação meteorológica fica responsável pela coleta das informações gerais da propriedade (radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento, entre outros) para o cálculo da Eto.

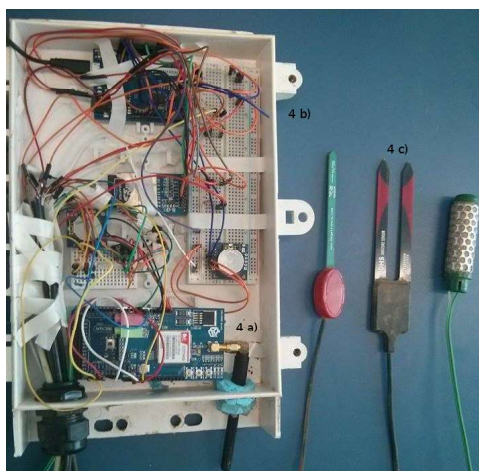


**Figura 3. Exemplo do funcionamento da Arquitetura Proposta.**

O componente de Aquisição de dados da arquitetura é representada pela coleta de dados dos sensores realizada individualmente em cada medidor de umidade e pluviometria. Após a coleta, a normalização dos dados é realizada em cada medidor no segundo componente da arquitetura, e posteriormente estes dados são classificados como informações de contexto no terceiro componente. Posteriormente, estas informações são enviadas para o servidor. Como normalmente os medidores ficam em lugares mais isolados, muitas vezes longe da energia elétrica, é necessário que a energia seja fornecida de outra maneira. Uma solução encontrada é a utilização de um painel solar juntamente com uma bateria que possa manter o medidor ligado mesmo com pouca incidência de sol por alguns dias. Através dos Contextos de Auto-Monitoramento, é possível verificar como está o consumo de energia dos medidores, e através destas informações, o sistema pode detectar se algum dos equipamentos está com defeito. Depois que a coleta e o envio dos dados são realizados (tempo pode variar de acordo com a necessidade), o módulo GPRS é desligado e o arduino entra no modo *sleep* para diminuir o consumo de energia, e voltam a ser ligados somente quando for realizada a próxima leitura de dados.

Na figura 4, são ilustrados os protótipos do medidor de umidade e pluviometria propostos neste artigo e os sensores de umidade do solo utilizados. Na figura 4 a) é apresentado o protótipo que contém o Arduino com a placa GSM/GPRS conectados, juntamente com RTC. Na figura 4 b) é apresentado um protótipo alternativo que utiliza o arduino juntamente com o RTC e uma placa para leitura e escrita em um cartão de memória SD. Este protótipo foi projetado para locais de difícil acesso, onde a rede GSM não está

disponível. Neste caso, é necessário que as informações sejam coletadas manualmente. E na figura 4 c) são apresentados alguns sensores de umidade do solo utilizados.



**Figura 4. Medidores de umidade e pluviometria e sensores.**

## 5. Trabalhos relacionados

Nesta seção será realizada uma breve análise comparativa entre os trabalhos relacionados e o presente artigo (Tabela 1). No trabalho de [Ejigu et al. 2008], foi desenvolvido a plataforma CoCA (Collaborative Context-Aware) que gerencia a forma com que os dados contextuais são coletados, representados, armazenados e disseminados. Estes dados são interpretados e agregados ao contexto, transformando-os em contextos de alto nível com maior significado. Então a plataforma decide sobre as ações e reações que devem ser disparadas. Os conhecimentos e decisões são armazenadas em uma base de contextos de conhecimento. Além disso, foi criado um modelo de representação de contextos para agregação e interpretação dos dados de contexto para realização da tomada de decisões.

**Tabela 1. TABELA COMPARATIVA**

	Agricultura de Precisão	Arquitetura Sensível ao Contexto	Modelo de Representação de Contexto
[Mills et al. 2013]	-	X	X
[Ejigu et al. 2008]	X	-	-
[Kjær 2008]	X	X	-
Trabalho Proposto	X	X	X

Já no trabalho de [Mills et al. 2013], foi implementado um sistema de controle e monitoramento da irrigação baseado na rede GSM utilizando os serviços de SMS. Este sistema possibilita aos usuários a utilização de dispositivos móveis e comandos SMS para gerenciar o sistema de irrigação. Os resultados mostraram que será possível para os usuários a utilização do SMS para monitorar diretamente as condições de sua propriedade, agendar as necessidades de água das culturas, controlar automaticamente a irrigação, e definir as condições operacionais de controle de acordo com as necessidades de água das culturas. No trabalho de [Kjær 2008], foi desenvolvido um middleware com suporte a coleta e compartilhamento de contextos a partir de fontes e ambientes heterogêneos



encontrados em uma fazenda. Além disso, os usuários finais do middleware proposto auxiliaram nas etapas de levantamento de requisitos e de projeto do middleware.

Porém, na pesquisa realizada, não foram encontrados trabalhos na área de agricultura de precisão com uma arquitetura bem definida e que utilizam alguma abordagem formal para a classificação das informações de contexto que possibilitam a tomada de decisões, e.g., detectar que houve chuva, e não existe a necessidade de realizar a irrigação em uma determinada região da propriedade. Além disso, foi desenvolvido também um protótipo para lugares de difícil acesso, que possibilite que a coleta de dados possa ser realizada mesmo onde a rede GSM não está disponível.

## 6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou dois protótipos de um medidor de umidade e pluviometria baseados em uma arquitetura de sensoriamento remoto sensível ao contexto utilizando tecnologias *open hardware*. Além disso, é proposta uma taxonomia de contextos que define os tipos de informações que são utilizadas na arquitetura dos protótipos. Com isso, é proposta uma solução que utiliza as informações coletadas para a modelagem do contexto, tornando a arquitetura pró-ativa, sendo capaz de reagir em diversas situações.

Este artigo possui três contribuições: foram desenvolvidos dois medidores de umidade e pluviometria com a utilização de tecnologias *open hardware*, que possibilitam a sua utilização ou modificação pela comunidade acadêmica. Um dos protótipos realiza o envio dos dados para o Servidor através da rede GSM, e o outro é uma alternativa para locais onde a rede GSM não está disponível. Também é proposta uma arquitetura sensível ao contexto juntamente com uma taxonomia de contextos genérica, que definem os tipos de informações que são utilizadas, e que podem ser utilizadas em sistemas pervasivos para agricultura de precisão.

Como trabalhos futuros, será realizada a implementação da comunicação do medidor de umidade e pluviometria com o servidor, que será responsável por realizar o cálculo da ETo e pela geração de gráficos com as informações disponíveis, para auxiliar no monitoramento das diversas áreas da propriedade. Além disso, serão testadas outras tecnologias de transmissão de dados (e.g., ZigBee), além de verificar qual é o painel solar e bateria mais adequados para os medidores de umidade e pluviometria.

## Referências

- Ahmed, Z. (2013). Design of autonomous low power sensor soil moisture measurement.
- Allen, R. G. et al. (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-fao irrigation and drainage paper 56.
- Augustin, I. (2004). Abstrações para uma linguagem de programação visando aplicações móveis em um ambiente de pervasive computing.
- Carlesso, R., Petry, M., and Trois, C. (2009). The use of a meteorological station network to provide crop water requirement information for irrigation management. In *Computer and Computing Technologies in Agriculture II, Volume 1*, pages 19–27. Springer.
- Decagon (2014). site: <http://www.decagon.com/products/soils/volumetric-water-content-sensors/10hs-soil-moisture-large-area-of-influence/> . acessado em:20/04/2014.

- Del Fabro Neto, A., Boufleuer, R., Romero de Azevedo, B., Augustin, I., Carlos D. Lima, J., and C. Rocha, C. (2013). Towards a middleware to infer the risk level of an activity in context-aware environments using the srk model. In *UBICOMM 2013, The Seventh International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, pages 38–42.
- Dey, A. K. (2000). *Providing architectural support for building context-aware applications*. PhD thesis, Georgia Institute of Technology.
- Doorenbos, J., Kassam, A. H., et al. (1979). *Yield response to water*.
- Ejigu, D., Scuturici, M., and Brunie, L. (2008). Hybrid approach to collaborative context-aware service platform for pervasive computing. *Journal of computers*, 3(1).
- Elliott, R., Hubbard, K., Brusberg, M., Hattendorf, M., Howell, T., Marek, T., Snyder, R., et al. (2000). The role of automated weather networks in providing evapotranspiration estimates. In *Proc. 4th Decennial National Irrigation Symposium*, pages 243–250.
- Harnett, C. (2011). Open source hardware for instrumentation and measurement. *Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE*, 14(3):34–38.
- IICA (2008). A irrigação no brasil. situação e diretrizes. *Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Ministério da Integração Nacional, Brasília, Brasil*.
- INMET (2014). site: <http://www.inmet.gov.br/portal/> acessado em:10/06/2014.
- Irrrometer (2014). site: <http://www.irrometer.com/pdf/sensors/403%20sensor%20%20web5.pdf> acessado em:20/04/2014.
- Kjær, K. E. (2008). Designing middleware for context awareness in agriculture. In *Proceedings of the 5th Middleware doctoral symposium*, pages 19–24. ACM.
- Liaghat, S. and Balasundram, S. K. (2010). A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural & Biological Science*, 5(1).
- Lima, J. C. D. (2013). *Sistema de recomendação sensível ao contexto para apoio à autenticação implícita em ambientes móveis e pervasivos baseado em conhecimento comportamental do usuário*. PhD thesis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Mills, G. A., ARMOO, S. K., ROCKSON, A. K., SOWAH, R. A., and ACQUAH, M. A. (2013). Gsm based irrigation control and monitoring system. *International Journal of Engineering Science & Technology*, 5(7).
- Rodrigues, G. C. and Pereira, L. S. (2009). Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems engineering*, 103(4):536–551.
- Sistema-Irriga (2014). site: <https://www.sistemairriga.com.br/> acessado em:10/06/2014.
- Vegetronix (2014). site: <http://www.vegetronix.com/products/soil-moisture-sensor-probes.phtml>. acessado em:20/04/2014.