

U-Agro: Uma Arquitetura Ubíqua de Gerenciamento de Atividades na Agricultura de Precisão

M. Morgenstern, R. Alves, G. Battisti e V. Maranh

Resumo—A terceira onda da computação, conhecida como Computação Ubíqua, define espaços onde sistemas computacionais, dispositivos e usuários estão totalmente interligados ao ambiente e a computação é onipresente. Na área da Agricultura, a computação vem sendo cada vez mais utilizada, tanto na forma de sistemas computacionais para análise de informações quanto na forma de instrumentos de auxílio, com equipamentos, que associados a outros dispositivos auxiliam produtores e empresas na obtenção de melhores resultados. Apesar da existência de tecnologias para o auxílio da realização de atividades na agricultura de precisão, ainda há resistência por parte dos produtores em relação ao uso de sistemas computacionais para o acompanhamento de dados de lavouras. Esta resistência se deve ao fato de que os sistemas projetados atualmente visam auxiliar técnicos agrícolas e engenheiros agrônomos no acompanhamento de lavouras, possuindo assim, uma visão comercial e administrativa. Deste modo, propõe-se neste trabalho a definição de uma arquitetura de auxílio a técnicos agrícolas, engenheiros agrônomos e produtores. A partir da definição da arquitetura, foram desenvolvidos módulos que compõem a mesma, sendo que posteriormente a arquitetura foi validada através da aplicação da mesma em um estudo de caso.

Palavras Chave—Agricultura de Precisão, Computação Ubíqua, Ontologia, Rede de Sensores Sem Fio, Web Services.

I. INTRODUÇÃO

NAS últimas décadas, áreas como a computação e comunicação tem se tornando cada vez mais presentes e indispensáveis no cotidiano da população, pois disponibilizam serviços como comunicação móvel, redes locais sem fio, e serviços via satélite. Estas tecnologias viabilizam o acesso e a utilização de informações e recursos a qualquer momento, em qualquer lugar [1]. Isso faz com que a computação possa ser aplicada em diversas áreas, de diversas formas. A Computação Ubíqua define a integração de usuários com o ambiente, saturado de recursos computacionais disponíveis. Desta forma, a computação auxilia a realização de diversas atividades cotidianas, mesmo sem que o usuário perceba a computação

envolvida nestes processos [3]. Isto amplia a importância da computação na aplicação em outras áreas, como na educação e na saúde.

Uma das áreas onde a computação é amplamente utilizada é a área da Agricultura de Precisão. Embora existam tecnologias voltadas para a realização dos serviços, que abrangem várias aplicações, ainda há resistência ao uso destes sistemas, pois eles são especialistas, desenvolvidos com uma visão administrativa do negócio, e não se adaptam as necessidades dos usuários ou as atividades previstas no ciclo de produção [13].

O aumento de rendimento dos agricultores pode ser alcançado de maneiras distintas, mas complementares, como por exemplo: A redução de custos da produção e o aumento da produtividade de culturas [2]. Para que isto ocorra, a aplicação de conceitos e tecnologias provenientes da área da Computação Ubíqua pode ser uma alternativa para auxiliar no problema de resistência ao uso destes sistemas pelos produtores.

Para tornar estes sistemas personalizados as necessidades dos agricultores, o desenvolvimento de uma arquitetura ubíqua, que realiza o monitoramento focado na análise e interpretação dos dados coletados do solo, mostrando recomendações e alertas baseados em contexto surge como uma opção. Por meio desta arquitetura, pode-se realizar a coleta de dados do solo no campo e tratar estas informações.

Este trabalho descreve a proposta de uma arquitetura de software, chamada U-Agro que é o tema central de um projeto de pesquisa em desenvolvimento na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI). Este projeto visa auxiliar engenheiros agrônomos nas atividades realizadas em campo, bem como fornecer informações necessárias aos produtores em busca de um bom gerenciamento e organização em relação aos negócios [3]. Isto é realizado através da tentativa de inserção de tecnologias no domínio de agricultura de precisão. O restante do artigo está estruturado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os principais conceitos das áreas de computação ubíqua, agricultura de precisão e tomada de decisão. A Seção 3 apresenta a arquitetura proposta juntamente com seus módulos, a descrição das funcionalidades de cada módulo e a aplicação da sensibilidade ao contexto na tomada de decisões. A Seção 4 apresenta um estudo de caso definido para a validação da arquitetura e dos protótipos desenvolvidos até o momento. A Seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

M. Morgenstern é graduando no curso de Ciência da Computação na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Campus Santa Rosa. (e-mail: marcos_msn54@hotmail.com)

R. Alves é graduando no curso de Ciência da Computação na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Campus Santa Rosa. (e-mail: roger_thatt@hotmail.com)

G. Battisti é doutor em Ciência da Computação e docente na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI) Campus Santa Rosa. (e-mail: battisti@unijui.edu.br)

V. Maranh é mestre em Ciência da Computação, doutorando em Ciência da Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e docente na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus Cachoeira do Sul. (e-mail: viniciusm@inf.ufsm.br)

II. COMPUTAÇÃO UBÍQUA E AGRICULTURA DE PRECISÃO

A. Computação Ubíqua

A Computação Ubíqua tem como objetivo principal fazer com que a computação se torne onipresente perante o usuário. Para que isto aconteça, a interação humano-máquina deve acontecer de uma forma transparente, culminando no uso da computação pelo usuário mesmo sem que este a perceba. A computação ubíqua ainda define um mundo onde diversos tipos de sensores (fixos, móveis ou inseridos em objetos) fazem leituras constantes sobre cada mudança ocorrida no ambiente [20].

A sensibilidade ao contexto é essencial para a área de computação ubíqua. O termo contexto pode ser definido como uma variedade de informações que podem ser utilizadas com o objetivo de caracterizar o estado de um grupo de entidades de interesse. Sistemas ou aplicações se adaptam de acordo com estas informações de contexto [19].

Dados de contexto podem ser representados de diversas formas e linguagens. Strang & Popien [21] realizaram uma comparação entre as formas de representação de contexto e os requisitos que estas formas de representação atendem. Neste comparativo, assim como em outros [23][24], constatou-se que ontologias atendem de forma mais completa as necessidades de sistemas sensíveis ao contexto em relação.

Tecnologias provenientes da Computação Ubíqua tem sido empregadas em diversas áreas de atuação. O setor agrícola é um setor em potencial para aplicação de tecnologias ubíquas, pois são ambientes com mudanças constantes de contexto, podendo ser beneficiados por atuações imediatas. Criar uma interface com sensibilidade ao contexto nessa área, pode gerar grandes avanços no controle e manutenção da lavoura, com a finalidade de aumentar a produtividade e a eficiência no gerenciamento de atividades.

B. Agricultura de Precisão e Tomada de Decisão

Agricultores têm, por longo tempo, procurado maximizar a produção física e econômica das culturas, variando a aplicação de insumos de acordo com os tipos de solos e culturas [4]. Entretanto, é importante mencionar que, em tempos passados, onde predominava a agricultura familiar, explorada em pequenas áreas, era possível observar facilmente a variabilidade espacial das propriedades dos solos, seus efeitos no desenvolvimento e produção das culturas e manejá-las com base nessas diferenças com métodos manuais. Porém, em grandes áreas, estas observações são mais complexas de serem realizadas [4].

Posteriormente, com o surgimento de tecnologias para a agricultura, foi possível manejar economicamente as culturas em grandes áreas com a aplicação uniforme de insumos [4]. Um agricultor que atualmente cultiva 1.000 hectares (ha) com manejo uniforme usa menos informações agrônômicas da variabilidade espacial do que 10 agricultores que anteriormente cultivaram essa mesma área em lotes de 100 ha [4].

Com o desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), associado a equipamentos capazes de medir a variabilidade (monitores de colheita) e aplicação de insumos

(fertilizantes, herbicidas, sementes, entre outros) em taxas variáveis, há a possibilidade de se reverter esta situação, possibilitando, assim, o manejo das culturas de modo mais eficiente [4].

Os principais componentes do sistema da agricultura de precisão devem associar medidas e trabalhar com questões relativas a variabilidade [4]. Posteriormente, o sistema deve usar a informação para manejar a variabilidade, associando a aplicação de insumos (fertilizantes, sementes, defensivos agrícolas, entre outros) usando o conceito de aplicação localizada, máquinas e equipamentos para a correta aplicação dos diferentes insumos a serem aplicados [4]. Finalmente, e mais importante, estes sistemas devem recordar a eficiência das práticas, com a finalidade de avaliar o seu valor para o agricultor [4].

A Figura 1 apresenta o ciclo de uma safra usando a Agricultura de Precisão como base. Este ciclo é composto por quatro etapas principais: (i) preparação do solo, (ii) plantio, (iii) colheita e (iv) acompanhamento da lavoura. Existem ainda, outros tipos de metodologias usadas para acompanhar o ciclo de uma safra.



Fig. 1. Ciclo de uma safra na agricultura da precisão [8].

Muitas tecnologias sustentam o conceito de agricultura de precisão [4]. Computadores mais rápidos, aliados a *softwares* de gerenciamento de dados e elaboração de gráficos e mapas estão entre as tecnologias que possibilitam a aplicação dos conceitos de agricultura de precisão [4]. Atividades tais como mapeamento de colheita, levantamento de dados de culturas e amostragem sistematizada de solos fornecem dados sobre a variabilidade das culturas e solos em uma determinada área [4]. Esses dados devem ser processados para fornecer informações que podem ser dispostas em mapas e utilizadas para a tomada de decisões [4].

Na perspectiva da ciência da informação, interessam aqueles níveis em que uma estrutura de conhecimento possa ser sistematizada e representada a partir de contextos específicos [5][7]. Segundo Newell [6], o nível ontológico é aquele que permite a representação de conhecimento

estruturado e formalizado.

Este contexto exemplifica como que, apesar de avançada tecnologicamente, a agricultura ainda possui uma base manual de análise e aplicação, aumentando sua margem de erro. Este domínio carece de uma base de conhecimento computacional que analise os dados advindos de sensores e recomende ações em tempo real com base nas informações coletadas de forma automatizada.

III. ARQUITETURA U-AGRO

A arquitetura *U-Agro* foi proposta como uma arquitetura de *software* que oferece suporte aos produtores rurais através do monitoramento em tempo real da área de plantio e recomendação de atividades de acordo com informações de contexto, provenientes do ambiente. Ou seja, a arquitetura visa aplicar tecnologias provenientes da Computação Ubíqua no domínio de Agricultura de Precisão.

Para desempenhar tal tarefa, a arquitetura gerencia informações coletadas por uma rede de sensores sem fio (RSSF). Estas informações são agrupadas e inseridas em uma ontologia (definida neste trabalho, para descrever o domínio de agricultura de precisão). Assim, a arquitetura é capaz de realizar recomendações de atividades e de emitir alertas para os produtores rurais através de dispositivos móveis. A arquitetura (Figura 2) possui quatro módulos, compostos por serviços, nomeados:

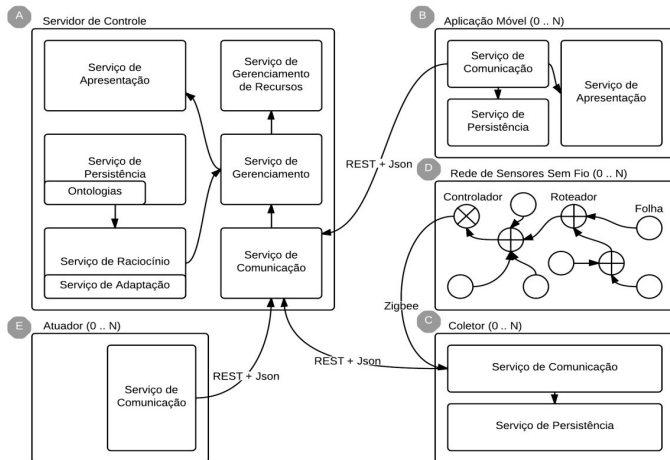


Fig. 2. Arquitetura *U-Agro* (adaptada de [31]).

(A) Servidor: Gerencia os dados e serviços utilizados na arquitetura através de uma série de serviços de gerenciamento. O *Serviço de Gerenciamento* é o responsável pelo controle de execução dos outros serviços do servidor. Para gerenciar os recursos necessários para a recomendação de ações, o *Serviço de Gerenciamento de Recursos* controla o estado dos recursos cadastrados na arquitetura. Estes recursos são separados em três categorias: (i) atuadores, (ii) sensores, e (iii) dispositivos móveis. O *Serviço de Apresentação* oferece uma interface gráfica *web* para o gerenciamento do servidor ou modificação de configurações. O *Serviço de Comunicação* implementa *web services* REST [14] que servem como interface de comunicação com os outros módulos da arquitetura. Para

realizar a recomendação de ações e o envio de alertas baseados em contexto, o *Serviço de Persistência* realiza o gerenciamento de informações modeladas na ontologia. Para gerenciar a ontologia em memória, foi utilizada a OWL API [15]. As recomendações são realizadas através de inferências feitas na ontologia, gerenciadas pelo *Serviço de Raciocínio*, que utiliza o motor de inferência Pellet [16];

(B) Aplicação Móvel: Para realizar o acompanhamento de lavouras e receber as recomendações e alertas emitidos pela arquitetura, uma aplicação móvel é disponibilizada aos produtores. A aplicação móvel foi desenvolvida para o sistema operacional Android. A aplicação foi previamente apresentada por Kirschner [12];

(C) Coletores: Aplicação desenvolvida na linguagem Java responsável por armazenar temporariamente as informações coletadas pela rede de sensores e transmiti-las ao servidor;

(D) Rede de Sensores Sem Fio (RSSF): Realiza a coleta dos dados através da análise do solo e do ambiente. A rede é formada por: (i) Folhas: sensores que realizam leituras e as enviam para roteadores, (ii) Roteadores: gerenciam a comunicação entre pequenos grupos de sensores, e (iii) Controlador: gerencia os nós roteadores, armazena temporariamente os dados coletados e envia as informações coletadas para a aplicação coletora;

(E) Atuadores: Implementos agrícolas, equipamentos ou *softwares* que dispõe de *web services* para controle de suas funcionalidades. São utilizados para modificar o ambiente ou realizar serviços externos ao controle da arquitetura.

A arquitetura trabalha com recomendações feitas através de inferências em ontologias. A próxima seção apresenta a forma com que as informações e o conhecimento gerenciado pela arquitetura foi modelado e como foram definidas as regras de inferência utilizadas para as recomendações.

A. Modelagem da Informação

A arquitetura *U-Agro* utiliza informações modeladas de três formas:

(i) Arquivos JSON: Utilizadas para modelar a informação proveniente da rede de sensores sem fio e ser transmitida entre os *Serviços de Comunicação* da arquitetura [22];

(ii) Banco de Dados Relacional: Armazena informações temporárias nos Coletores e nas Aplicações Móveis. A modelagem e uso destes bancos foi previamente apresentada por Kirschner [12]. Foram utilizadas as ferramentas MySQL [26] (módulo coletor) e SQLite [27] na aplicação móvel;

(iii) Ontologia modelada na linguagem OWL-DL [28]: Utilizada para modelar o domínio e as informações de contexto utilizadas na arquitetura. É utilizada no servidor da arquitetura.

Ontologia pode ser definida como uma especificação formal explícita de uma conceitualização compartilhada [9]. Ela é formal pois é legível e interpretável pelo computador, é explícita pois representa conceitos, propriedades, funções e relações explicitamente definidas, é compartilhada pois baseia-se em informações consensuais, e é uma conceitualização pois é um modelo abstrato referente ao mundo real.

Para realizar a inferência de recomendações e alertas, foi desenvolvida uma ontologia que descreve o domínio de aplicação da arquitetura *U-Agro*. A ontologia contempla todas as etapas no ciclo da safra em uma lavoura. Para isso, o conceito-foco para o desenvolvimento da ontologia é a Gleba, uma pequena parte de área total da lavoura onde há sensores coletando dados. Para realizar a modelagem da ontologia, foi utilizada a metodologia *Methontology* [18].

A Tabela 1 apresenta as principais entidades da ontologia e suas relações.

TABELA I

PRINCIPAIS ENTIDADES DA ONTOLOGIA SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO.

Classe	Descrição	Abstrato	Relacionamentos
<i>Composting</i>	Compostagem	Não	<i>Soil</i> .
<i>Correction</i>	Correção do solo.	Não	<i>Soil</i> .
<i>DataCollection</i>	Coleta de dados	Não	<i>Soil</i> .
<i>Disking</i>	Gradagem	Não	<i>Soil</i> .
<i>Gleba</i>	Porção de terra onde o sensor irá coletar os dados	Sim	<i>NormalGleba</i> ; <i>GlebaWithProblem</i> .
<i>Gleba With Problem</i>	Gleba que necessita de correções agrícolas.	Não	<i>Soil</i> ; <i>Services</i> ; <i>Weather</i> ; <i>Technician</i> .
<i>Irrigation</i>	Irrigação	Não	<i>Soil</i> .
<i>Liming</i>	Calagem	Não	<i>Soil</i> .
<i>Moisture</i>	Umidade do ar	Não	<i>Gleba</i> .
<i>Normal Gleba</i>	Gleba que não necessita de correções agrícolas	Não	<i>Weather</i> , <i>Soil</i> , <i>Harvest</i> .
<i>Plague Control</i>	Controle de Pragas	Não	<i>Soil</i> .
<i>Planning</i>	Planejamento para o ciclo da produção	Não	<i>Producer</i> .
<i>Precipitation</i>	Precipitação de chuva.	Não	<i>Gleba</i> .
<i>Recommendation</i>	Recomendação	Não	<i>Soil</i> .
<i>Sampling</i>	Amostragem	Não	<i>Soil</i> .
<i>Scarification</i>	Escarificação	Não	<i>Soil</i> .
<i>Services</i>	Medidas usadas em uma gleba que necessita de correções.	Sim	<i>Composting</i> ; <i>Correction</i> ; <i>DataCollection</i> ; <i>Disking</i> ; <i>Irrigation</i> ; <i>Liming</i> ; <i>Monitoring</i> ; <i>Recommendation</i> ; <i>Sampling</i> ; <i>Scarificatio</i> ; <i>SubSoiling</i> .
<i>Soil</i>	Solo pertencente a gleba.	Não	<i>NormalGleba</i> ; <i>GlebaWithProblems</i> ; <i>Services</i> .
<i>SubSoiling</i>	Subsolagem	Não	<i>Soil</i> .
<i>Weather</i>	Fenômenos climáticos	Sim	<i>Temperature</i> ; <i>Moisture</i> ; <i>Precipitation</i> ;

As entidades *Gleba*, *Services* e *Weather* são classes abstratas porque não são instanciadas diretamente na ontologia, somente suas sub-entidades. A ontologia completa é disponibilizada em [17]. A Figura 3 apresenta as principais classes definidas na ontologia.

Após a definição da ontologia, e descrição da mesma na linguagem OWL-DL (*Web Ontology Language – Description Logic*), regras de inferência foram definidas e testadas na ontologia. As regras foram definidas em SWRL (*Semantic*

Web Rule Language) [29].

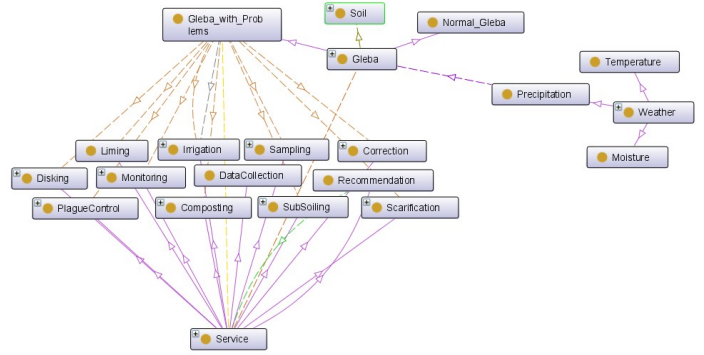


Fig. 3. Principais classes da ontologia que descreve o domínio da arquitetura *U-Agro*.

A seguir, algumas regras definidas na ontologia são apresentadas, com a descrição da regra e o código definido em SWRL, que representa a regra implementada:

- A correção de acidez do solo é recomendada quando o Ph da água é menor que 5,5 (Regra 1), quando o Ph do solo é menor que 80 (Regra 2) ou quando a saturação por Al é menor que 20 (Regra 3):

$GlebaWithProblem(?g), hasSoil(?g, ?s), hasPhWater(?s, ?ph), swrlb:lessThan(?ph, 5,5) \rightarrow hasService(?g, Liming)$ (1)

$GlebaWithProblem(?g), hasSoil(?g, ?s), hasPh(?s, ?ph), swrlb:lessThanOrEqual(?ph, 80) \rightarrow hasService(?g, Liming)$ (2)

$GlebaWithProblem(?g), hasSoil(?g, ?s), hasAl(?s, ?Al), swrlb:lessThanOrEqual(?ph, 20) \rightarrow hasService(?g, Liming)$ (3)

- A aplicação de defensivos agrícolas é recomendada quando a temperatura está entre 10°C e 35°C, a umidade do ar está entre 60 e 90, e a velocidade do vento na Gleba é menor que 10km/h (Regra 4):

$GlebaWithProblem(?g), hasTemperature(?g, ?t), swrlb:greaterOrEqualThan(?t, 10), swrlb:lessOrEqualThan(?t, 35), hasAirMoisture(?g, ?m), swrlb:greaterOrEqualThan(?m, 60), swrlb:lessThan(?m, 90), hasWindSpeed(?g, ?ws), swrlb:lessThen(?ws, 10) \rightarrow hasService(?g, PlagueControl)$ (4)

- A irrigação é recomendada quando a umidade do solo está entre 50 e 85 (Regra 5):

$GlebaWithProblem(?g), hasSoil(?g, ?s) hasMoisture(?s, ?m), swrlb:greaterOrEqualThan(?m, 50), swrlb:lessOrEqualThan(?m, 85) \rightarrow hasService(?g, Irrigation)$ (5)

- Recomendação de realização da colheita, envolvendo temperatura, umidade do ar e umidade do solo na Gleba (Regra 6):

$Gleba(?g), hasCycle(?g, ?c), swrlb:Boolean(?c, true), hasTemperature(?g, ?t), swrlb:greaterOrEqualThan(?t, 20), swrlb:lessOrEqualThan(?t, 30), hasAirMoisture(?g, ?am), swrlb:greaterOrEqualThan(?am, 60), swrlb:lessOrEqualThan(?am, 95), hasSoil(?g, ?s), hasMoisture(?s, ?m), swrlb:greaterOrEqualThen(?ms,$ (6)

30) , swrlb:lessrOrEqualThen(?ms, 35) ->
hasService(?g, Harvest)

A partir da definição da ontologia e das regras de inferência referentes a recomendação de atividades, é possível executar serviços na arquitetura, que são disparados a cada momento em que uma regra que define uma recomendação é validada como verdadeira de acordo com as informações coletadas do ambiente.

Para realizar a inferência baseada nas regras definidas na ontologia, é necessário que a mesma seja populada com informações provenientes do ambiente. Para que isto aconteça, a arquitetura U-Agro utiliza uma RSSF.

B. Sensoriamento

A Arquitetura U-Agro realiza o sensoriamento (coleta e integração de dados) da lavoura a partir de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF). Esta rede de sensores executa funções específicas dentro da arquitetura, manipulando e gerenciando os dados do solo. A RSSF comunica-se e envia os dados coletados de forma direta com o coletor, desenvolvido na linguagem Java. Desta forma, os conjuntos de informações geradas pela rede de sensores podem disparar eventos (eventos definidos em regras SWRL).

A RSSF é formada por um conjunto de nós. Cada nó representa um sensor conectado na rede através de comunicação sem fio. Esta forma de tecnologia permite o compartilhamento de dados entre módulos e envio das informações coletadas de cada sensor para o coletor. Os módulos sensores tem sua construção baseada na plataforma Arduino, nela são conectados diversos dispositivos essenciais para o funcionamento do sensor. A Figura 4 apresenta um esquema de cada nó da RSSF utilizada na arquitetura U-Agro.

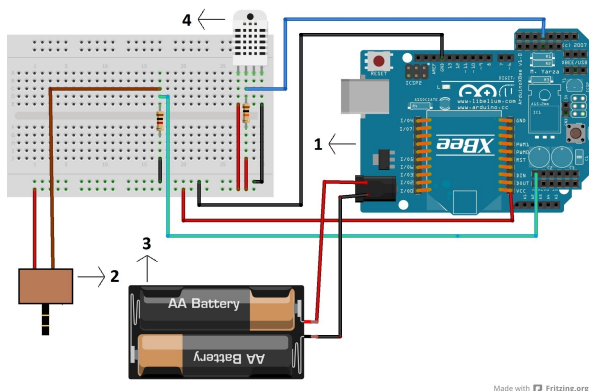


Fig 4. Modelo de um nó da rede de sensores.

(1) Central de Gerenciamento: É formada pela plataforma Arduino Uno R3 juntamente com um *shield Xbee* [30] e um módulo Xbee Pro S2 60 mW Wire;

(2) Sensor de Ph do Solo: Devido à escassez de sensores no mercado que proporcionam a coleta de medidas sobre o nível do potencial hidrogeniônico (Ph) do solo de forma digital e que tivesse baixo custo aquisitivo, fez-se necessário a confecção de uma solução (Figura 5) baseada na solução proposta por [25]. Tendo em vista que o sensor do Ph fosse necessariamente resistente ao clima e tivesse baixo custo,

foram utilizados tubos de policloreto de polivinil (PVC) e de cobre, ambos com 2,2 cm de diâmetro. Os tubos foram cortados em cápsulas de 5 cm e inseridos em um tubo de PVC com bitola de 1,8 cm de diâmetro. O sensor contém duas cápsulas de tubo de cobre com 5 cm, onde são separadas por uma cápsula isolante formada por PVC de 5 cm. Ambas as cápsulas de cobre foram perfuradas, permitindo assim que cabos fossem conectados e estendidos, de forma interna pelo sensor. Após a conexão dos cabos foram soldados usando estanho, a solda foi realizada em forma de anel, envolvendo as cápsulas. Estes cabos são utilizados para que o pulso elétrico seja enviado ao solo, permitindo que a resistência gerada pelo solo seja coletada e convertida em dados digitais, dados estes submetidos a um cálculo gerando assim o índice de Ph;

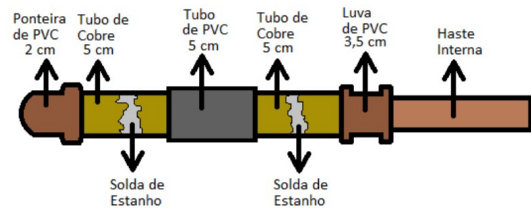


Fig 5. Sensor de PH de solo acoplado ao nó da RSSF. Adaptado de [25].

(3) Baterias: Bateria de Polímero de Lítio Ion. Cada célula possui uma saída de 5V;

(4) Sensor de Umidade e Temperatura: Foi utilizado o sensor DHT11. Este sensor de temperatura e umidade emite um sinal em sua saída. Um micro-controlador de alta performance de 8-bits garante isto no encapsulamento do módulo. Um elemento resistivo do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*) faz a medição da temperatura e oferece respostas rápidas. A Figura 6 apresenta um protótipo de nó da RSSF em um campo de testes.

C. Aplicação Móvel

Para realizar a emissão de alertas e recomendações aos produtores, foi desenvolvida uma aplicação móvel [12] para o sistema operacional Android. Esta aplicação se comunica com os serviços disponibilizados pela arquitetura U-Agro. A aplicação é dividida em pacotes, nomeados:

(a) **Interface:** Contém as definições e métodos de gerenciamento das interfaces utilizadas no aplicativo;

(b) **Conexão:** Gerencia o envio e recebimento de informações externas;

(c) **Modelo:** Contém as definições da modelagem conceitual utilizada para a representação do domínio;

(d) **Mapas:** Contém as definições de mapas utilizados na aplicação para visualização de áreas e marcações no aplicativo;

(e) **Banco:** Gerencia o banco de dados relacional utilizado na aplicação móvel para armazenar informações temporárias e alertas.



Fig 6. Protótipo de nó da RSSF.

A Figura 7 apresenta a interface principal da aplicação móvel, onde o produtor pode alterar informações cadastrais sobre as áreas gerenciadas, verificar questões de planejamento e recomendações que a arquitetura gerou, sincronizar informações com a arquitetura ou verificar e realizar o cadastro de visitas na lavoura.



Fig 7. Interface principal da aplicação móvel utilizado na arquitetura U-Agro [12].

IV. ESTUDO DE CASO E REALIZAÇÃO DE TESTES

Para validar a arquitetura proposta e os protótipos desenvolvidos, considera-se o seguinte cenário de uso:

A. Estudo de Caso

Um produtor de soja possui uma área de 2 hectares de terra e possui dois tipos de solos na mesma: argiloso e humoso. Ele necessita de uma abordagem que seja capaz de monitorar a lavoura em tempo real, para efetuar correções agrícolas com mais rapidez e, consequentemente, mais eficácia. Para realizar o sensoriamento da lavoura, a área total desse produtor é dividida em glebas. Cada uma recebe um sensor com tecnologia *Arduino* para monitoramento. Esse sensores se comunicam entre si através de uma rede de malha.

O cadastro da área do produtor pode ser feita diretamente no servidor ou com o auxílio da aplicação móvel, através da definição de pontos no mapa. A Figura 8 apresenta a interface da aplicação móvel para o cadastro de uma área.

Após o cadastro da área, coletas de dados periódicas são realizadas pela RSSF utilizada na área. As informações são passadas para um coletor de dados que está integrado a arquitetura U-Agro.

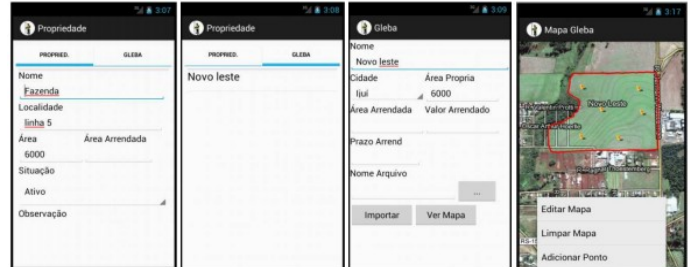


Fig 8. Interface de cadastro de uma Gleba [12].

A arquitetura recebe as informações da RSSF e as insere na ontologia. O Código 7 representa uma série de medições feitas pela RSSF e transmitidas ao servidor no formato JSON.

```

{"leituras": [
  {"id":1.0,"ph":7.0,"umidadeSoloOBSoil":0.0,"temperaturaSolo":32.0,"umidadeSolo":25.0,"temperaturaAmbiente":31.0,"umidadeAmbiente":25.0,"latitude":-27.852369,"longitude":-54.491798,"hora":15:24:32,"data":07/12/2014},
  {"id":1.0,"ph":6.0,"umidadeSoloOBSoil":0.0,"temperaturaSolo":32.0,"umidadeSolo":25.0,"temperaturaAmbiente":32.0,"umidadeAmbiente":24.0,"latitude":-27.852369,"longitude":-54.491798,"hora":16:24:36,"data":07/12/2014},
  {"id":1.0,"ph":6.0,"umidadeSoloOBSoil":0.0,"temperaturaSolo":32.0,"umidadeSolo":25.0,"temperaturaAmbiente":31.0,"umidadeAmbiente":25.0,"latitude":-27.852369,"longitude":-54.491798,"hora":17:24:40,"data":07/12/2014}
]}
    
```

(7)

A análise realizada pela ontologia, disponibiliza ao produtor, informação necessária para a correção da lavoura ao mesmo tempo que o mantém informado sobre o ciclo de sua safra através de um dispositivo móvel. O produtor, durante uma visita a área, registra no sistema uma visita com a informação de que será retirada uma amostra de solo em uma determinada data. A arquitetura emite um alerta informando o produtor sobre a previsão de tempo na data da retirada (Figura 9). As informações sobre a previsão são importadas através de um serviço externo a arquitetura [12].

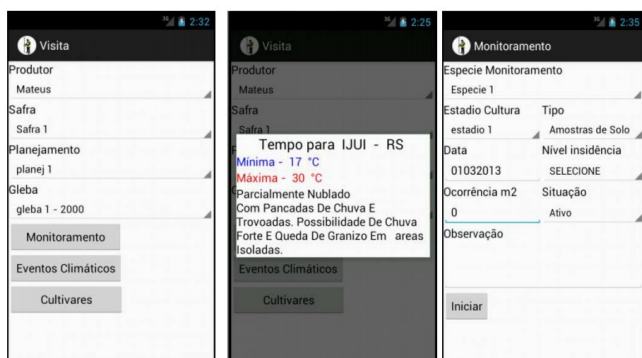


Fig 9. Monitoramento da lavoura via dispositivo móvel e alerta de previsão de tempo. [12]

Após um período de três dias sem incidência de chuva, o produtor consulta a aplicação móvel em seu *smartphone* de maneira objetiva a fim de buscar as glebas com umidade do solo baixa. Com as informações coletadas via RSSF, a arquitetura infere que as glebas de códigos 4 e 5 necessitam de irrigação. A recomendação de irrigação é apresentada na Figura 10.

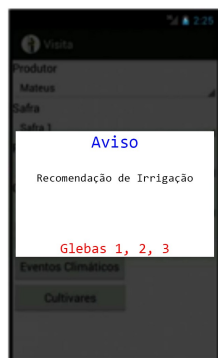


Fig 10. Aviso de Recomendação de Irrigação.

Após a irrigação, o produtor utiliza o aplicativo móvel para monitorar a normalização das glebas.

B. Testes

Para verificar a distância que os módulos da RSSF são capazes de se comunicar, foi realizado uma série de testes de campo. Obtendo assim informações relevantes sobre a eficiência de cada módulo na RSSF. Estes dados foram analisados e terão relevância na dispersão dos módulos, tentando abranger a maior área possível sem perda de dados.

Os testes de transferências de dados tiveram foco na distância máxima que 2 (dois) módulos da rede eram capazes de transmitir os dados. Na execução dos testes foram obtidos dados conforme apresentado na Figura 11.

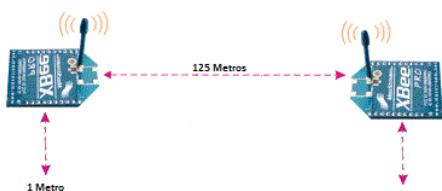


Fig 11. Distância e altura dos nós da RSSF.

Ambos os módulos tiveram uma distância de transmissão de 125 metros, com taxa de erro de 0%. Porém analisando de uma forma mais robusta as condições de transmissão, notou-se que ambos os módulos devem estar a uma altura de 1 metro em relação ao solo.

V. CONCLUSÃO

A evolução de tecnologias voltadas à área da Agricultura de Precisão, como a computação móvel e pervasiva, estende cada vez mais o número de aplicações possíveis de serem aplicadas por agriculturas que visam a ascensão econômica por consequência de uma melhor produtividade nas lavouras.

A arquitetura *U-Agro* busca aplicar tecnologias provenientes da computação ubíqua e sensibilidade ao contexto no domínio de Agricultura de Precisão, oferecendo interfaces simples para a consulta e acompanhamento de informações de lavouras no ciclo de agricultura de precisão.

Até o momento, as contribuições deste trabalho são:

- Definição da arquitetura, dos serviços que a compõe, e da maneira como os serviços se comunicam;
- Modelagem do domínio e da aplicação em uma ontologia, que ainda possui regras de inferência que definem recomendações;
- Definição de uma RSSF integrada a arquitetura e que coleta informações posteriormente utilizadas pela arquitetura.
- Implementação de uma aplicação móvel que emite recomendações e alertas aos produtores, bem como serve como interface para a utilização dos serviços disponibilizados pela arquitetura.

Como trabalhos futuros, tem-se em vista uma ampliação no que se refere aos tipos de culturas utilizadas pelos produtores através do aumento da modelagem ontológica, que necessariamente deve-se enquadrar de acordo com a realidade de cada ciclo realizado na cultura, validando assim a adoção de variadas culturas pelo método.

Melhorias em equipamentos e *softwares* são opções para simplificar a forma de trabalhar com os diversos sistemas disponíveis para efetuar os serviços e a redução do valor final da tecnologia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - campus Cachoeira do Sul pelo suporte a pesquisa realizada, e aos revisores da Revista ICCEEG pelas sugestões apresentadas no processo de revisão.

REFERÊNCIAS

- [1] SANTANA, R. Universidade de São Paulo. "Computação móvel, histórico da evolução". Website. Disponível em: http://grenoble.ime.usp.br/~gold/cursos/2008/movel/slides/CM_Historico_Evolucao.pdf.
- [2] COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. EMBRAPA. Sete Lagoas, MG. Dezembro 2005.
- [3] BARBIERI, S. PERFIL UML PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO. Monografia de Conclusão de Curso. 2008. Disponível em: <http://www.santoangelo.uri.br/~portalcomp/TCCs/Barbieri.pdf>

- [4] MANTOVANI, Evandro Chartuni; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de precisão. EMBRAPA. Artigos... Disponível em: <<http://www.embrapa.br/noticias/artigos/folder>, p. 02-02.1550581232, 2005.
- [5] ALMEIDA CAMPOS, M. L. Modelização de domínios de conhecimento: uma investigação de princípios fundamentais. *Ciência da Informação*, v. 1, n. 33, p. 22-32, 2004.
- [6] NEWELL, Allen. The knowledge level. *Artificial intelligence*, v. 18, n. 1, p. 87-127, 1982.
- [7] ALMEIDA, Mauricio B.; BAX, Marcello P. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 32, n. 3, p. 7-20, 2003.
- [8] SOWA, J. F. Building, sharing and merging ontologies. Tutorial. [S.l. :s. n.], 1999. [Online] Disponível em: <<http://users.bestweb.net/~sowa/ontology/ontoshar.htm>>
- [9] BORST, Willem Nico. Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse. Universiteit Twente, 1997.
- [10] GUARINO, Nicola (Ed.). Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy. IOS press, 1998.
- [11] NOY, Natalya F. et al. Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. 2001.
- [12] KIRSCHNER, Sabrina Feron. Um sistema de auxílio à coleta de dados na área de agricultura de precisão baseado em aplicações móveis. 2013. Disponível em: http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1556/tcc_sabrina.pdf?sequence=1. Monografia de Conclusão de Curso
- [13] ABBASI, Abu Zafar et al. A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, v. 36, n. 2, p. 263-270, 2014.
- [14] PAUTASSO, Cesare; ZIMMERMANN, Olaf; LEYMAN, Frank. Restful web services vs. big'web services: making the right architectural decision. In: Proceedings of the 17th international conference on World Wide Web. ACM, 2008. p. 805-814.
- [15] HARRIDGE, Matthew; BECHHOFFER, Sean. The owl api: A java api for owl ontologies. *Semantic Web*, v. 2, n. 1, p. 11-21, 2011.
- [16] PARSIA, Bijan; SIRIN, Evren. Pellet: An owl dl reasoner. In: Third International Semantic Web Conference-Poster. 2004.
- [17] U-Agro Ontology. Dataset. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16493>
- [18] FERNÁNDEZ-LÓPEZ, Mariano; GÓMEZ-PÉREZ, Asunción; JURISTO, Natalia. Methontology: from ontological art towards ontological engineering. 1997.
- [19] DEY, A.K. ABOWD, G.D. (2000) "Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness". CHI 2000. Workshop on the What, Who, Where, When, and How of Context-Awareness
- [20] STRANG, T., POPIEN, C. (2005) "A Context modelling survey". In Proc. Of the Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management as Part of UbiComp, pp.33-40 (2005)
- [21] MARAN, Vinícius et al. Um Serviço de Persistência de Contexto e Seleção Contextualizada de Documentos para a Arquitetura ClinicSpace. In: XXXVII Conferência Latinoamericana de Informática (CLEI). Quito, Equador. 2011.
- [22] MORGENSTERN, M. S. ; AURELIO, R. ; ALVES, R. ; MARAN, V. . Definição de uma Rede de Sensores para a Arquitetura AgroMobile. Em: XII Simpósio de Informática da UNIFRA (SIRC), 2013, Santa Maria - RS.
- [23] MAKRIS, Prodromos; SKOUTAS, Dimitrios N.; SKIANIS, Charalabos. A survey on context-aware mobile and wireless networking: On networking and computing environments' integration. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 15, n. 1, p. 362-386, 2013.
- [24] PERERA, Charith et al. Context aware computing for the internet of things: A survey. *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 16, n. 1, p. 414-454, 2014.
- [25] CELINSKI, Victor George; ZIMBACK, Célia Regina Lopes; CELINSKI, Tatiana Montes. Avaliação de um sensor de resistência elétrica e sua correlação com atributos do solo. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. Páginas 86-95, 2009.
- [26] SUEHRING, Steve. Mysql: a bíblia. In: MySQL: a bíblia. Campus, 2002.
- [27] OWENS, Mike; ALLEN, Grant. SQLite. Apress LP, 2010.
- [28] MCGUINNESS, Deborah L. et al. OWL web ontology language overview. W3C recommendation, v. 10, n. 10, p. 2004, 2004.
- [29] HORROCKS, Ian et al. SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. W3C Member submission, v. 21, p. 79, 2004.
- [30] FALUDI, Robert. Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing. " O'Reilly Media, Inc.", 2010.
- [31] ALVES, Roger Victor; MARAN, Vinícius. Uma Arquitetura Ubíqua de Gerenciamento de Atividades no Domínio de Agricultura de Precisão. *Salão do Conhecimento*, v. 2, n. 01, 2014.