

Modelagem semântica de dados e desenvolvimento de camada de persistência de dados para plataforma de pecuária de precisão

Leandro Borges da Silva¹, Hana Karina Salles Rubinsztejn¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil
leandroborges@outlook.com, hana@facom.ufms.br

Resumo. A inovação na produção e gestão do agronegócio se torna cada vez mais importante para manter-se competitivo na cadeia de produção bovina. O aumento da demanda relacionada ao bem-estar animal, segurança alimentar, rastreabilidade bovina, sustentabilidade, entre outros, são alguns dos desafios. A pecuária de precisão pode contribuir para atingir esses objetivos. Nesse contexto, diversos são os estudos e projetos desenvolvidos para a pecuária de precisão. Esses são projetos que possuem uma heterogeneidade de sensores e geram um grande volume de dados provenientes de diferentes fontes e com distintos padrões. Este artigo tem como finalidade definir um modelo de dados semântico e físico para persistência de dados oriundos dos diversos sensores e sistemas utilizados na pecuária de precisão, visando a integração e compartilhamento padronizado dessas informações. Como validação do modelo de dados, também é demonstrado uma implementação do modelo na camada de persistência dos dados de uma plataforma para pecuária de precisão baseada em IoT (*Internet of Things*).

Palavras-chave: Modelagem de dados, NoSQL, Pecuária de Precisão, Integração.

Abstract. Innovation in agribusiness production and management is becoming increasingly important to remain competitive in the cattle production chain. The increase in demand related to animal welfare, food safety, bovine traceability, sustainability, among others, are some of the challenges. Precision livestock can contribute to achieving these goals. In this context, there are several studies and projects developed for precision livestock. These projects have a heterogeneity of sensors, and generate a large volume of data from different sources and with different standards. This paper aims to define a semantic and physical data model for data persisting from the various sensors and systems used in precision livestock, aiming the integration and sharing information. As a validation of the data model, it is also demonstrated an implementation of the model in the data persistence layer of a platform for precision livestock based on IoT.

Keywords: Data modeling, Precision Livestock, NoSQL, Integration.

1 Introdução

Nos últimos anos, o agronegócio da pecuária de corte vem aumentando sua participação no PIB brasileiro [1] e, com esse desenvolvimento, surgem alguns desafios. O aumento da demanda relacionada ao bem-estar animal, segurança alimentar, sustentabilidade e rastreabilidade dos animais são alguns dos exemplos. Para se manterem competitivos e, principalmente, melhorar tanto o bem-estar animal bem como a produção em si, são exigidas dos participantes da cadeia de criação bovina mudanças na produção e na gestão do agronegócio.

Nesse contexto, a pecuária de precisão pode contribuir para esses objetivos. A pecuária de precisão pode ser definida como a gestão de bovinos a partir da Tecnologia da Informação e Comunicação, que garante boas práticas na produção de carne [5]. O desenvolvimento de ferramentas para o monitoramento dos animais durante sua vida, de forma automática, é uma de suas finalidades [3].

A partir desse cenário, surgem algumas oportunidades para a viabilidade da pecuária de precisão. O rastreamento individual de animais e a obtenção dos dados do rebanho, por exemplo, pode auxiliar o produtor na tomada de decisões, colaborando com a diminuição de gastos desnecessários. Com essas informações o tempo de manejo pode diminuir, afetando diretamente o resultado econômico, o que assegura a redução de custos e até mesmo ganho de produtividade.

No Brasil, há alguns anos, pesquisas estão evoluindo e contribuindo com a pecuária de precisão. Dentre essas pesquisas, alguns estudos relevantes se destacam: a predição de comportamento animal e técnicas de inteligência artificial, baseado em posições georreferenciadas; controle sanitário e manejo reprodutivo, registrando diariamente o peso dos animais, por meio de uma balança de passagem; integração lavoura-pecuária floresta (ILPF) para conforto-térmico animal, coletando informações ambientais, como por exemplo, temperatura e umidade relativa do ar, e condições fisiológica dos bois, como temperatura corporal e batimentos cardíacos; e rastreamento bovino [2,12, 17, 21].

Nessas pesquisas são utilizados uma heterogeneidade de sensores, protocolos e padrões. Esses projetos também geram um grande volume de dados, provenientes de diferentes fontes e com diversos padrões de informações. Cada um dos trabalhos desenvolve tecnologias que funcionam isoladamente, capturando e processando os dados dos sensores.

Baseado nos diversos sensores utilizados na pecuária de precisão, este trabalho pretende definir um modelo semântico para os dados coletados, um modelo físico para persistência de dados, bem como a base de uma implementação de uma plataforma para pecuária de precisão. O propósito é gerenciar dados heterogêneos e grandes volumes de dados providos por sensores e fornecer informações padronizadas.

2 Material e métodos

Um mapeamento sistemático sobre trabalhos na área da pecuária de precisão foi realizado a fim de identificar os principais dados coletados por sensores e então possibilitar a criação de um dicionário de dados desta área de pesquisa.

O mapeamento sistemático, baseado no processo descrito por Kitchenham [16], foi dividido em três fases. Contempla o planejamento, a condução e, por último, a extração dos dados e análise dos resultados. O planejamento é a etapa em que são definidas as necessidades da pesquisa, bem como o protocolo do mapeamento sistemático. Na fase de condução é feita a identificação dos estudos primários, em que são avaliados de acordo com critérios de inclusão e exclusão estabelecidos. Por último, é realizado o levantamento das informações após a seleção dos estudos primários, assim como as respostas das questões de pesquisas.

Na fase de planejamento, foi realizada uma pesquisa baseada em palavras-chave relevantes ao tema, previamente escolhidas. Definidas a abrangência e as proximidades dos resultados, foi então definida uma base qualitativa. Nesta fase, foram estipuladas as questões de pesquisa (QP), conforme apontado abaixo:

1. Quais trabalhos apresentam uma proposta para modelagem de dados no domínio da pecuária de precisão?
2. Quais fazem uso de metodologias e processos de modelagem de dados?
3. Quais possuem uma modelagem flexível e adaptável ao contexto?

De acordo com o contexto do trabalho, a construção das *strings* de busca foi definida em três áreas: automação, modelagem de dados e pecuária. Em seguida, foram definidas *strings* genéricas de buscas, adaptadas de acordo com a base de busca pesquisada. A pesquisa foi realizada a partir das principais bases utilizadas em revisões sistemáticas nas mais diversas áreas da computação, que são a *ACM Digital Library* (ACM), *IEEE Xplore Digital Library* (IEEE), *Web of Science* e *Science Direct* [8]. A partir do cruzamento das palavras-chave, o resultado gerado é a *string* apresentada no Quadro 1.

Quadro 1. *String* padrão de busca em inglês do mapeamento sistemático.

(AUTOMATION or SENSOR) AND
(DATAMODEL or DATA MODEL or DATA MODELING) AND
(LIVESTOCK or AGRICULTURE or FARM or CATTLE)

A fim de conseguir uma amostragem adequada e padronizada, refinando o resultado da busca dos estudos primários, foram criadas duas regras: Critérios de Inclusão (CI) e Critérios de Exclusão (CE). Os critérios incluem:

- Estudos que apresentem coleta de dados por sensores na agropecuária (CI1).
- Estudos que apresentem modelo de dados coletados por sensores (CI2).
- Estudo publicado antes de 2005 (CE1)

- Estudo que não contemple satisfatoriamente os critérios de inclusão (CE2).
- Estudo que não esteja em inglês, espanhol ou em português (CE3)

Com essas regras, foram incluídos apenas os estudos primários mais relevantes ao contexto do mapeamento.

Na fase de condução do mapeamento sistemático, dividida em duas etapas, foi feita a identificação dos estudos e, na segunda etapa, a seleção. O processo de execução das buscas considerou as configurações de pesquisa em algumas bases de dados, aplicando a *string* de busca sobre o título, palavras-chave e resumo. Realizado o processo de busca, resultando em 296 estudos, todos foram avaliados por título, resumo, data de publicação e idioma. Após aplicar os critérios de exclusão, 16 estudos foram selecionados [7][9][10][11][13][14][15][17][18][20][25][26][27][28][29][30]. Como critério de inclusão, todos esses estudos descrevem soluções que apresentam coleta de dados por sensores, assim como um modelo de dados.

Também foram investigados trabalhos e pesquisas realizados na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS). Foram analisados seis estudos relevantes em diversas áreas, como a predição de comportamento animal, rastreamento bovino, integração lavoura-pecuária-floresta, entre outros [2][4][12][19][21][22].

De acordo com os resultados obtidos após a extração dos dados dos estudos selecionados, na última etapa, foi executada a análise de cada um dos trabalhos. Nesta etapa, a partir dos trabalhos selecionados, foram levantados todos os dados sensoriais de cada um dos projetos, assim como seus valores, medidas e tipos de dados.

Com base em todos os dados identificados, e suas informações, foi elaborado um dicionário de dados para a pecuária de precisão.

3 Resultados e discussão

3.1 Um dicionário de dados para a pecuária de precisão

O dicionário de dados sensoriais padroniza um nome comum para cada dado utilizado na pecuária de precisão, baseado na semântica da informação coletada. Os dados foram categorizados em quatro tipos: comportamental, micro-clima, fisiológico e contextual.

Os dados gerados por sensores relacionados ao comportamento de cada animal, como sua trajetória em uma área de pastejo, são classificados como comportamentais. Dados, como a temperatura do solo, radiação solar ou qualquer outro dado relacionado ao meio ambiente, são categorizados como micro-clima. Já os dados fisiológicos são os dados de cada animal ao longo do tempo, como peso e sua frequência cardíaca. Por último, os dados provenientes de sensores que aferem alguma alteração em insumos da propriedade, como a quantidade de água em um bebedouro ou se uma porteira

está aberta ou fechada, por exemplo, são categorizados como dados contextuais. A Tabela 1 descreve todos os dados já com a nomenclatura padronizada no idioma inglês.

Tabela 1. Dados para pecuária de precisão.

Entidade	Tipo	Definição
Accelerometer	Comportamental	Aceleração própria de um sistema.
AirTemperature	Microclima	Temperatura do ar.
AnimalSpeed	Comportamental	Velocidade do animal.
AnimalWeight	Fisiológico	Peso do animal.
BlackGlobeTemperature	Microclima	Temperatura do globo negro.
BodyTemperature	Fisiológico	Temperatura corporal do animal.
CH4	Microclima	Gás metano expelido pelo animal.
CO2	Microclima	Dióxido de carbono do ambiente.
DewPointTemperature	Microclima	Temperatura do ponto de orvalho.
DryBulbTemperature	Microclima	Temperatura do bulbo molhado.
GateOpened	Contextual	<i>Status</i> aberto ou fechado de um portão.
GeographicCoordinate	Contextual	Coordenadas geográficas.
Gyroscope	Comportamental	Referência da direção.
HeartRate	Fisiológico	Batimento cardíaco do animal.
Magnetometer	Comportamental	Força, orientação e direção do campo magnético.
PH	Microclima	Nível de pH da água ou do solo.
Precipitation	Microclima	Quantidade pluviométrica.
RelativeHumidity	Microclima	Humidade relativa do ar.
RespiratoryFrequency	Fisiológico	Frequência respiratória do animal.
RetalTemperature	Fisiológico	Temperatura retal do animal.
SoilTemperature	Microclima	Temperatura do solo.
SoilMoisture	Microclima	Humidade do solo.
SoilWaterPotencial	Microclima	Potencial hídrico do solo.
SoilNitrogen	Microclima	Porcentagem de nitrogênio no solo.
SolarRadiation	Microclima	Nível de radiação solar.
WaterTemperature	Microclima	Temperatura da água.
WetBulbTemperature	Microclima	Temperatura do bulbo seco.
WindSpeed	Microclima	Velocidade do vento.

Definidos e padronizados os dados, cada um deles foi transformada em uma entidade no modelo de dados para o desenvolvimento da plataforma de pecuária de precisão. As entidades possuem diferentes atributos, porém os *metadados*, descritos abaixo e que contém as definições e representações dos dados, são comuns a todas as entidades.

↳

- **Entidade:** Nome da entidade que foi definida após a revisão sistemática. Cada entidade representa um dado coletado por sensores.
- **Atributo:** Os atributos são as características de cada entidade. Uma chave primária, valor e unidades de medidas são os principais atributos das entidades.
- **Domínio:** Um domínio é o tipo do valor que o atributo irá receber. O valor pode ser numérico, texto, booleano, ou uma data.
- **Default:** Define o valor padrão do atributo. É flexível, caso necessário. Este *metadado* é opcional.
- **Mínimo:** O valor mínimo do atributo. Caso este *metadado* esteja em branco no dicionário de dados, não há valor mínimo permitido.
- **Máximo:** O valor máximo do atributo. Caso este *metadado* esteja em branco no dicionário de dados, não há valor máximo permitido.
- **Descrição:** Descreve o que é o atributo ou informações adicionais que possam ser utilizadas pelo usuário do dicionário de dados.

O dicionário de dados foi criado para utilização em plataformas de pecuária de precisão. Ele permite que se obtenham informações sobre os objetos e entidades do modelo de forma textual, e seu objetivo é ser claro e consistente. Na Tabela 2 é demonstrado um exemplo de uma entidade do dicionário de dados, chamada de “AnimalWeight” [24].

Tabela 2. Exemplo de entidade para dicionário de dados.

Entidade: AnimalWeight					
Atributo	Domínio	Default	Mínimo	Máximo	Descrição
Value	Decimal (4,2)		0	1999	Peso do animal.
Unit	Varchar	Kg			Unidade de medida (Kg).
Resource	String				Id, nome ou <i>tag</i> do animal.
Date	Timestamp				Data e hora do registro.

3.2 Desenvolvimento de uma plataforma para pecuária de precisão

Para fins de validação do modelo de dados, foi realizada a implementação do modelo na camada de persistência dos dados de uma plataforma para pecuária de precisão baseada em IoT, idealizada por Carromeu [6]. Essa plataforma integra diversos serviços, envolvendo desde a captura de dados dos sensores até a implementação de softwares que processam, automatizam e apresentam as informações para usuários finais.

Essa plataforma possui uma arquitetura dividida em camadas, e seu desenvolvimento foi baseado em tecnologias atuais para o desenvolvimento de software, tanto para *mobile* quanto *desktop*. Tecnologias como RESTful (*REpresentational State Transfer*), JSON (*JavaScript Object Notation*), NodeJS, MongoDB e PWA (*Progressive Web App*) foram utilizadas [23]. A plataforma foi implementada em duas partes. Na primeira parte, o software, que é embutido em um dispositivo Raspberry Pi, é responsável pelo recebimento e armazenamento dos dados. A segunda parte, implementada em um servidor na nuvem, permite o recebimento e sincronismo de diferentes dispositivos.

O escopo principal deste projeto, além da definição de um dicionário e modelo de dados adequado ao domínio da pecuária de precisão, é a camada de persistência de dados. Nesta camada, para a gestão e armazenamento de dados, a solução foi implementada utilizando banco de dados não relacional (NoSQL), baseado no conceito de documentos e *collections*, que permite o armazenamento dos dados recebidos pelos sensores.

Este tipo de banco de dados utilizado na plataforma foi definido em virtude de atender aos requisitos de gerenciamento no armazenamento e processamento de dados em larga escala, e que necessitam de alta disponibilidade e escalabilidade. Para o domínio da pecuária de precisão, baseado em estudos diversos e na necessidade de trabalhar com enormes quantidades de dados heterogêneos, o banco de dados NoSQL demonstrou ser a melhor solução para o projeto. Neste projeto foi utilizado o banco de dados MongoDB.

Os dados provenientes dos sensores, representados pelas entidades anteriormente descritas no dicionário de dados, são armazenados em uma estrutura individual. Na camada de persistência, existe uma relação de estrutura definida na arquitetura, onde para cada tipo de dado há um *Schema* de persistência de documentos. Cada *Schema* mapeia um tipo de dado no MongoDB, e define a forma dos documentos. Como exemplo, a Figura 1 demonstra o *Schema* implementado para dados de peso do animal, que corresponde a entidade *AnimalWeight*.

A estrutura do *Schema* é basicamente a mesma para todas as entidades, que possui os atributos **uid**, **value**, **date**, **resource**, **dataStorage** e **syncedAt**. Cada chave, representada por um atributo, define uma propriedade no documento, e possui um *SchemaType* associado. Os *SchemaTypes* permitidos são *string*, *number*, *date*, *buffer*, *boolean*, *mixed*, *objectId*, *array*, *decimal128* e *Map*.

```

1  'use strict';
2
3  const mongoose = require('mongoose');
4  const Schema = mongoose.Schema;
5
6  const animalWeight = new Schema({
7    uid:{
8      type:String,
9      required:true,
10     unique: true
11   },
12   mac:{
13     type:String,
14     required:true
15   },
16   value:{
17     type:Number,
18     min: 0,
19     max: 1999,
20     validate: /^d{0,4}(\.d{1,2})?$/,
21     required:true
22   },
23   unity: {
24     type:String,
25     default: "Kg",
26     required:true
27   },
28   dateRegister:{
29     type>Date,
30     required:true
31   },
32   dataStorage:{
33     type>Date,
34     default: Date.now,
35     required:true
36   },
37   syncedAt:{
38     type: Date
39   },
40 },{collection: "type-animal-weight"});
41
42 module.exports = mongoose.model ('type-animal-weight', animalWeight);

```

Figura 1. *Schema* de documento para dados do tipo peso animal.

O atributo **uid** é um identificador único do documento, gerado automaticamente pelo MongoDB. Já o atributo **value** corresponde aos valores dos dados gerados pelo sensor. Em qualquer *Schema* implementado para as entidades, há três informações do tipo data. São os atributos **date**, **dataStorage** e **syncedAt**. As datas referem-se, respectivamente, a data de coleta do dado pelo sensor, data de armazenamento e data da sincronização do dado. Por fim, o atributo **resource**, é uma breve descrição referente ao dado, como a *tag* do sensor ou nome do animal, por exemplo.

4 Considerações Finais

O uso de tecnologias computacionais e a inovação na cadeia de produção bovina são primordiais para manter-se competitivo, já que as exigências na produção e gestão do agronegócio aumentam cada vez mais. Neste contexto, a pecuária de precisão pode auxiliar na automatização de processos, aumento de produção e bem-estar animal, bem como a produção bovina como um todo.

Alguns problemas precisam ser resolvidos para que a pecuária de precisão seja viável. O custo dos equipamentos e sensores, aspectos culturais e comportamentais são alguns deles. No entanto, também há desafios tecnológicos, como a heterogeneidade de sensores, que trabalham com protocolos e padrões de dados diversos. A padronização e persistência dos dados é uma grande necessidade para plataformas de pecuária de precisão.

Uma importante contribuição desse trabalho foi a elaboração de um dicionário de dados, baseado em um amplo mapeamento sistemático, que realizou o levantamento de sensores e tipos de dados utilizados no domínio da pecuária e áreas correlatas.

Um modelo semântico e padronizado de dados inerentes ao domínio da pecuária de precisão foi definido com o intuito de guiar futuras implementações e permitir maior interoperabilidade entre projetos e produtos.

O modelo desenvolvido tem foco na entidade que representa a semântica do dado, independente do tipo de sensor que o obteve. Por exemplo, o peso do animal pode ser coletado por uma balança ou estimado com base em imagens, mas a ênfase está no peso do animal (entidade “AnimalWeigth”) e não no sensor, que torna-se apenas um atributo adicional. Pode-se então obter a informação do peso do animal, uniformemente, não obstante o tipo de sensor utilizado.

Claramente, o dicionário e o modelo podem ser estendidos, com a identificação ou surgimento de novos dados ou sensores.

Com o modelo de dados semânticos definido, foi implementado um modelo físico para persistência de dados em banco de dados não-relacional. Este modelo foi desenvolvido e validado na camada de persistência da plataforma. O banco de dados NoSQL foi a solução para o armazenamento dos dados, em que a eficiência e escalabilidade são requisitos que uma arquitetura de dados para a pecuária de precisão necessita. O MongoDB, que é um banco NoSQL orientado a documentos, foi a opção escolhida na implementação do projeto, principalmente por ter uma documentação ampla e uma comunidade de desenvolvedores bastante ativa.

Como perspectiva para trabalhos futuros, há a necessidade de inclusão, tanto no dicionário como no modelo de dados e sua implementação, de outros tipos de dados, tais como analógicos, sinais de ondas e de imagens.

Referências

1. ABIEC. Beef Report 2020. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/> (Acessado em julho de 2020).
2. Ajala, N. et al. Microclima e conforto térmico em sistemas em integração no cerrado. In: Jornada Científica EMBRAPA Gado de Corte, 9. 2013, Campo Grande, MS.[Anais...]. Campo Grande, MS: EMBRAPA Gado de Corte, 2013. Embrapa Gado de Corte – Resumo em anais de congresso (ALICE). [S.l.]. (2013)
3. Berckmans, D. Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. *Livestock Production and Society*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen (2006) 287-295
4. Bressan, P. O. Algoritmos para obtenção de frequência cardíaca e respiratória em bovinos. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-graduação da Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (2016)
5. Cáceres, E. N. et al. Computational precision livestock–position paper. In: II Workshop of the Brazilian Institute for Web Science Research. [S. l.: s. n.] (2011)
6. Carromeu, C. e-cattle: Uma plataforma de iot para pecuária de precisão. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (20196)
7. Debauche, O. et al. Web-based cattle behavior service for researchers based on the smartphone inertial central. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 110 (2017) 110-116
8. Dyba, T.; DINGSOYR, T.; HANSSSEN, G. K. Applying systematic reviews to diverse study types: An experience report. In: IEEE. Empirical Software Engineering and Measurement. ESEM 2007. First International Symposium on. [S. l.] (2007) 225-234
9. Han, L. et al. Microenvironment information acquisition and processing in farmland water potential soft-sensing. In: IEEE. Intelligent Control and Automation (WCICA), 8th World Congress on. [S. l.] (2010) 6943-6948
10. Hong, Z.; KALBARCZYK, Z.; IYER, R. K. A data-driven approach to soil moisture collection and prediction. In: IEEE. Smart Computing (SMARTCOMP), IEEE International Conference on. [S. l.] (2016) 1-6
11. Huhtanen, P. et al. Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. *Journal of dairy science*, Elsevier, v. 98, n. 5 (2015) 3394-3409
12. Jesus, L. de. Identificação do comportamento bovino por meio do monitoramento animal. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-graduação da Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (2014)
13. Jiayu, Z. et al. Application of intelligence information fusion technology in agriculture monitoring and early-warning research. In: IEEE. Control, Automation and Robotics (ICCAR), International Conference on. [S. l.] (2015) 114-117
14. Kaneda, Y. et al. Greenhouse environmental control system based on sw-svr. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 60 (2015) 860-869
15. Kim, H.; CHO, Y.; YOE, H. Intelligent livestock farm management for context data model design. *Green and Smart Technology with Sensor Applications*, Springer (2012) 291-296
16. Kitchenham, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, v. 33 (2004) 1-26
17. Kiyoshi, H. et al. Fieldtouch: an innovative agriculture decision support service based on multi-scale sensor platform. In: IEEE. Global Conference (SRII), Annual SRII. [S.l.] (2014) 228-229

18. Lin, H. et al. Global positioning of off-road vehicles by sensor fusion for precision agriculture. In: IEEE. Intelligent Control and Automation, 2008. WCICA. 7th World Congress on. [S. l.] (2008) 7005-7010
19. Lomba, L. F. D. Identificação do comportamento bovino a partir dos dados de movimentação e do posicionamento do animal. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (2015)
20. Mariño, P. et al. Networked biological system by wireless sensors. In: IEEE. Control, Automation, Robotics and Vision, 2008. ICARC, 10th International Conference on. [S. l.] (2008) 218-222
21. Neto, Q. I. d. S. Termus uma plataforma para aferição remota de temperatura de bovinos da raça brangus. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-graduação da Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (2010)
22. Oliveira, M. T. P. d. Análise comportamental de bovinos baseada em trajetórias semânticas aplicada à pecuária de precisão. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-graduação da Faculdade de Computação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande (2013)
23. Santos, V. B. d. Desenvolvimento de software para plataforma de internet das coisas aplicada à pecuária de precisão. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2018)
24. SILVA, L. B. Modelagem e Persistência de Dados Sensoriais na Plataforma e-Cattle. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2018)
25. Stefani, F. D. et al. Renvdb, a restful database for pervasive environmental wireless sensor networks. In: IEEE. Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW), IEEE 30th International Conference on. [S. l.] (2010) 206-212
26. Tan, L.; HOU, H.; ZHANG, Q. An extensible software platform for cloud-based decision support and automation in precision agriculture. In: IEEE. Information Reuse and Integration (IRI), IEEE 17th International Conference on. [S. l.] (2016) 218-225
27. Taylor, K. et al. Farming the web of things. IEEE Intelligent Systems, IEEE, v. 28, n. 6 (2013) 12-19
28. Uchinuno, T. et al. Development of knowledge sharing system for agriculture application. In: IEEE. Advanced Applied Informatics (IIAIAAI), IIAI International Conference on. [S. l.], 2013 (2013) 108-111
29. Wang, J.; DAMEVSKI, K.; CHEN, H. Sensor data modeling and validating for wireless soil sensor network. Computers and Electronics in Agriculture, Elsevier, v. 112 (2015) 75–82
30. Zacepins, A. et al. Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees. In: IEEE. Carpathian Control Conference (ICCC), 12th International. [S. l.] (2011) 465-468