ELCIO ABRAHÃO

Modelagem conceitual de ontologia de tarefa para as operações
agrícolas da cana-de-açúcar

São Paulo

2018

ELCIO ABRAHÃO

Modelagem conceitual de ontologia de tarefa para as operações
agrícolas da cana-de-açúcar

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências.

São Paulo
2018

ELCIO ABRAHÃO

Modelagem conceitual de ontologia de tarefa para as operações
agrícolas da cana-de-açúcar

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia da Computação.

Orientador:
Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa.

São Paulo
2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Abrahão, Elcio

Modelagem conceitual de ontologia de tarefa para as operações agrícolas da cana-de-açúcar / E. Abrahão -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
110 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Ontologia de tarefa 2.Modelagem conceitual 3.Operações agrícolas cana de-açúcar 4.Engenharia do conhecimento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.

Para meus pais, Valéria, minha esposa, meus filhos Eduardo e Lara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu orientador, professor André Ryuiti Hirakawa, pela orientação e suporte durante toda a jornada de pesquisa de doutorado e sobretudo pela paciência e gentileza que sempre nortearam nossos encontros. Expresso minha gratidão ao professor Silvio José Bicudo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu, pelo incentivo e orientação na iniciação científica e por acender a chama da pesquisa e dar valiosos conselhos sobre a academia e a vida. Agradeço também ao professor Antônio Mauro Saraiva pelos valiosos conselhos durante a disciplina de metodologia de escrita científica; ao professor Carlos Eduardo Cugnasca cuja visão sistêmica e detalhista ajudaram na composição deste trabalho e ao professor Pedro Luiz Pizzigatti Correia, cujos conselhos sobre a abrangência deste trabalho na qualificação e sobre as possíveis publicações derivadas foram muito importantes na definição final do tema deste trabalho. Agradeço aos colegas do Laboratório de Automação Agrícola pela ajuda, companheirismo e suporte nas atividades acadêmicas. Também agradeço a S/A Usina Coruripe Açúcar e Alcool, do Grupo Tércio Wanderley, na figura de seu diretor e proprietário Maurício Wanderley por ter fornecido as informações necessárias para realização do estudo de caso deste trabalho. Por fim, agradeço minha família, pelo infindável apoio e incentivo, a minha irmã, Evely pela torcida fiel e por todas as revisões de artigos e finalmente a minha esposa Valeira Rett Abrahão por salvar minha vida mais de uma vez.

“The improvement of understanding is for two ends:
first, our own increase of knowledge; secondly, to
enable us to deliver that knowledge to others. “

John Locke

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar. As operações agrícolas da cana-de-açúcar representam aproximadamente 67% dos custos de produção de açúcar e álcool e é um setor que faz uso intenso de tecnologia. Um dos problemas mais comuns na área de sistemas de informação agrícolas é a dificuldade de interoperabilidade entre os agentes da cadeia produtiva. A falta de um padrão para representar o conhecimento técnico das operações agrícolas da cana-de-açúcar dificulta o compartilhamento deste conhecimento, além de aumentar o custo de manutenção dos sistemas especialistas. O presente trabalho propõe um modelo conceitual para uma ontologia de tarefa que represente as operações agrícolas da cana-de-açúcar afim de possibilitar a interoperabilidade entre sistemas computacionais e o compartilhamento do conhecimento utilizando formalismo ontológico. Foram estudados os padrões para troca de dados na área agrícola, métodos para modelagem de tarefas e ontologias. O modelo conceitual proposto foi baseado em uma extensão de um perfil UML para representar tarefas existentes, sendo adicionada uma notação para representação de eventos externos a tarefa que podem alterar seu estado, não existente no perfil original. Os resultados foram avaliados em relação a conformidade da extensão proposta com o meta-modelo da linguagem de modelagem conceitual original e da capacidade do modelo em representar as estruturas específicas das operações agrícolas da cana-de-açúcar. O modelo proposto serve de base para implementações via RDF ou OWL garantindo através do formalismo ontológico a interoperabilidade entre os sistemas agrícolas canavieiros.

Palavras-Chave: Modelo conceitual. Ontologia de tarefa. Cana-de-Açúcar. Operações Agrícolas. Engenharia do conhecimento.

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest producers of sugar cane. Sugar cane agricultural operations account for approximately 67% of sugar and alcohol production costs and is a sector that makes intense use of technology. One of the most common problems in the agricultural information systems area is the difficulty of interoperability among agents in the production chain. The lack of a standard to represent the technical knowledge of the sugar cane agricultural operations makes it difficult to share this knowledge, and it increases the cost of maintenance of expert systems. The present work proposes a conceptual model for a task ontology that represents the sugar cane agricultural operations in order to enable the interoperability between computational systems and the knowledge sharing by using an ontological formalism. The standards for agricultural data exchange, methods for task modeling and ontologies have been studied. The proposed conceptual model was based on an extension of an existing UML profile to represent tasks, but a notation to represent external tasks that can change its state was added. This notation did not exist in the original profile. The results were evaluated in relation to the conformity of the proposed extension with the meta-model of the original conceptual modeling language and the capacity of the model to represent the specific structures of the sugarcane agricultural operations. The proposed model could be implemented in RDF or OWL and allowing the interoperability between sugar cane software systems.

Keywords: Conceptual modeling. Task ontology. Sugar cane. Agriculture operations. Knowledge engineering.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL SAFRA 2017/2018.	16
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL NO BRASIL.....	17
FIGURA 3 - CARACTERÍSTICAS DA CADEIA PRODUTIVA DE CANA DE AÇÚCAR.	18
FIGURA 4 - CARACTERÍSTICAS DA TROCA DE DADOS ENTRE OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR.	19
FIGURA 5 - OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO TRABALHO.	21
FIGURA 6 - ECONOMIA DO CONHECIMENTO.....	22
FIGURA 7 - CICLO DE VIDA DA GESTÃO DO CONHECIMENTO.....	23
FIGURA 8 - DECOMPOSIÇÃO DO CONHECIMENTO.....	24
FIGURA 9 - FINALIDADE DOS MODELOS CONCEITUAIS.	24
FIGURA 10 - CARACTERÍSTICAS DE UM MODELO PARA REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO DEPENDENTE DE TAREFA.	25
FIGURA 11 - LIMITAÇÃO (GAP) DOS TRABALHOS RELACIONADOS A DESCRIÇÃO DO CONHECIMENTO NA ÁREA AGRÍCOLA.	26
FIGURA 12 - PADRÕES PARA TROCA DE DADOS NA ÁREA AGRÍCOLA.....	32
FIGURA 13 - RELACIONAMENTO ENTRE PROCESSOS (PR).	42
FIGURA 14 - RELAÇÕES TEMPORAIS DE ALLEN: UM EVENTO SE RELACIONA COM UM EVENTO A DE FORMA SEQUENCIAL OU PARALELA SEGUNDO RESTRIÇÕES IMPOSTAS AO RELACIONAMENTO.....	43
FIGURA 15 - EXEMPLO DE REDE DE PETRI LUGAR TRANSIÇÃO PARA A OPERAÇÃO DE APLICAÇÃO DE INSUMO CONSIDERANDO A MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	45
FIGURA 16 - AUTÔMATO BASEADO EM RELÓGIO COM PROCESSOS ASSÍNCRONOS.....	46
FIGURA 17 - MODELOS PARA TAREFAS PERIÓDICAS E ESPORÁDICAS.	47
FIGURA 18 - HIERARQUIA DE ESPECIALIZAÇÃO DE ONTOLOGIAS.	53
FIGURA 19 - ELEMENTOS COMUNS REPRESENTADOS POR UMA ONTOLOGIA DE FUNDAMENTAÇÃO.....	54
FIGURA 20 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA DE CLASSE REPRESENTANDO UMA HIERARQUIA DE CONCEITOS UTILIZANDO A LINGUAGEM ONTOUML.	56
FIGURA 21 - UNIFIED FOUNDATION ONTOLOGY (UFO) E SUAS TRÊS DIVISÕES.....	57
FIGURA 22 - UFO-A: DEFINE ENTIDADES, INDIVÍDUOS, PROPRIEDADES E RELACIONAMENTOS.	59

FIGURA 23 - UFO-B, ESTENDE AS DEFINIÇÕES DE UFO-A PARA DEFINIR EVENTOS, SITUAÇÕES, PRÉ E PÓS CONDIÇÕES E INTERVALOS TEMPORAIS.....	60
FIGURA 24 - UFO-C, ESTENDE OS CONCEITOS DA UFO-A E UFO-B PARA DEFINIR ENTIDADES SOCIAIS (E.G. ORGANIZAÇÕES E EMPRESAS).....	61
FIGURA 25 – ONTOLOGIAS DE TAREFA NO CONTEXTO DAS OPERAÇÕES AGRÍCOLAS.	67
FIGURA 26 – TIPOS DE VISÕES REPRESENTADAS PELA E-ONTOUML.	71
FIGURA 27 - EXEMPLO DE UM DIAGRAMA E-ONTOUML PARA A OPERAÇÃO AGRÍCOLA DA APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS.	74
FIGURA 28 - EVENTOS EXTERNOS QUE AFETAM O ESTADO DA TAREFA: TRIGGER EVENT (TE)	75
FIGURA 29 - EXTENSÃO DA E-ONTOUML PARA DESCREVER EVENTOS EXTERNOS A TAREFA.	78
FIGURA 30 - ELEMENTOS DO MODELO PARA REPRESENTAR AÇÕES NA E-ONTOUML.....	79
FIGURA 31 - EXEMPLO DE UMA CONDIÇÃO REPRESENTADA EM E-ONTOUML.....	80
FIGURA 32 - ELEMENTOS DO MODELO PARA REPRESENTAR OBJETOS NA E-ONTOUML.	81
FIGURA 33 - REPRESENTAÇÃO DAS PARTICIPAÇÕES DE UM OBJETO.	82
FIGURA 34- REPRESENTAÇÃO DE PARTIÇÕES DE AGENTE NA UML.	82
FIGURA 35 - NOTAÇÃO E-ONTOUML PARA FLUXO DE CONTROLE SEQUENCIAL.	83
FIGURA 36 - NOTAÇÃO E-ONTOUML PARA FLUXO DE CONTROLE PARALELO.	83
FIGURA 37 - CUSTOS DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR SAFRA 2016/2017.....	84
FIGURA 38 - DE CIMA A ESQUERDA NO SENTIDO HORÁRIO: (1) COLHEITA MECANIZADA, (2) COLHEITA MANUAL, (3) TOMBAMENTO DA CANA, (4) CARREGAMENTO MECANIZADO..	86
FIGURA 39 - MODELO CONCEITUAL DE ONTOLOGIA DE TAREFA PARA OPERAÇÕES DE CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE, VISÃO NÃO DETALHADA.	88
FIGURA 40 - MODELO CONCEITUAL DE ONTOLOGIA DE TAREFA PARA OPERAÇÃO DE COLHEITA MANUAL DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	91
FIGURA 41 - MODELO CONCEITUAL PARA ONTOLOGIA DE TAREFA PARA OPERAÇÃO DE COLHEITA MECANIZADA DE CADA DE AÇÚCAR.....	93
FIGURA 42 - MODELO CONCEITUAL PARA ONTOLOGIA DE TAREFA PARA OPERAÇÃO DE COLHEITA MECANIZADA DE CADA DE AÇÚCAR.....	98

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS FORMATOS PARA TROCA DE DADOS ENTRE SISTEMAS.	36
TABELA 2 - PRINCIPAIS OPERAÇÕES AGRÍCOLAS DA CANA-DE-AÇÚCAR.	40
TABELA 3 - TRANSIÇÕES ENTRE ATIVIDADES NO FLUXO DE PROCESSO DE TRABALHO.....	49
TABELA 4 - METODOLOGIAS PARA CONSTRUÇÃO DE ONTOLOGIAS.	53
TABELA 5 - EXEMPLOS DE ONTOLOGIAS DE ALTO NÍVEL OU DE FUNDAMENTAÇÃO.....	55
TABELA 6 - MODELOS DE ONTOLOGIAS DE DOMÍNIO DESENVOLVIDAS COM ONTOUML, NOMES ORIGINAIS EM INGLÊS E DESCRIÇÃO (LISTA PARCIAL).	62
TABELA 7 - AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE ELEMENTOS DE REPRESENTAÇÃO DE CONCEITOS NA E-ONTOUML E EVENTOS DE DISPARO (TE).....	94

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AAO	Agriculture Activity Ontology
ANA	Article Numbering Association
AOS	Agriculture Ontology Service
ATR	Açúcar Total Recuperável
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CGIAR	Consultative Group for International Agricultural Research
CP/BDMA	Cadeia Produtiva do Biodiesel da Mamona
DL	Descrição Lógica
EDI	Electronic Data Interchange
FAO	Food and Agriculture Organization
FTP	File Transfer Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IA	Inteligência Artificial
JSON	JavaScript Object Notation
KIF	Format Knowledge Interchange
MAKOCI	Multi-Agent Knowledge Oriented CyberInfrastructure
NAO	Nigeria Agricultural Ontology
OCL	Object Constraint Language
ODETTE	Organization for Data Exchange by Tele Transmission in Europe
OWL	Web Ontology Language
PGP	Pretty Good Privacy
POE	Planned Ordinary Event
RCCD	Restrições de Controle sobre Cores Decompostas
RDF F	Resource Description Framework
S/MIME	Secure Multipurpose Internet Mail Extension
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SSL	Secure Socket Layer
UFO	Unified Foundation Ontology
UML	Universal Modeling Language
UN/EDIFACT	The United Nations rules for Electronic Data Interchange for

Administration, Commerce and Transport

UOE Unplanned Ordinary Event

URI Uniform Resource Identifier

W3C World Wide Web Consortium

XML eXtensible Markup Language

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	20
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	20
1.3. JUSTIFICATIVA	21
1.4. MATERIAL E MÉTODOS	26
1.5. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	27
2. OPERAÇÕES AGRÍCOLAS	29
2.1. DEFINIÇÕES	29
2.2. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO AGRÍCOLAS DA CANA-DE-AÇÚCAR	30
2.3. PADRÕES PARA TROCA DE DADOS NA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA	31
2.4. PADRÕES PARA TROCA DE DADOS	31
2.4.1. <i>Texto Formato ASCII</i>	32
2.4.2. <i>EDI (Electronic Data Interchange)</i>	33
2.4.3. <i>XML (eXtensible Markup Language)</i>	33
2.4.4. <i>JSON (JavaScript Object Notation)</i>	34
2.4.5. <i>RDF (Resource Description Framework)</i>	34
2.4.6. <i>OWL (Web Ontology Language)</i>	35
2.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PADRÕES	35
2.6. PADRÕES PARA TROCA DE DADOS NA ÁREA AGRÍCOLA	36
2.7. ANÁLISE DE TAREFAS	38
2.8. MODELOS PARA REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE TAREFAS NA ÁREA AGRÍCOLA	39
2.8.1. <i>Redes de Petri</i>	43
2.8.2. <i>Autômatos computacionais</i>	44
2.8.3. <i>UML (Universal Modeling Language)</i>	48
2.9. COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS	48

3. ONTOLOGIAS	51
3.1. DEFINIÇÕES	51
3.1.1. Metodologias para criação de ontologias.....	52
3.1.2. Formalismos para representação de ontologias	53
3.1.3. UFO (Unified Foundation Ontology)	56
3.1.4. Ontologias de domínio.....	57
3.1.5. Ontologias de domínio para a agricultura.....	63
3.1.6. Ontologias de Tarefa	66
3.1.7. Qualidade e avaliação de ontologias.....	68
3.1.8. Método para avaliação de modelos conceituais	70
4. MODELO PARA ONTOLOGIA DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS	71
4.1. E-ONTOUML	71
4.2. REPRESENTAÇÃO DE EVENTOS EXTERNOS A TAREFA	73
4.3. ANÁLISE DO FORMALISMO ONTOLÓGICO DO MODELO PROPOSTO.....	76
4.3.1. Representação de Ações	77
4.3.2. Representação de Objetos.....	80
4.3.3. Representação de Agentes.....	81
4.3.4. Representação de fluxos de controle	83
5. RESULTADOS	84
5.1. ESTUDO DE CASO: COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR	84
5.2. MODELO PROPOSTO	86
5.2.1. Detalhamento do modelo	87
5.2.2. Avaliação do modelo proposto	92
6. CONCLUSÕES.....	96
6.1. METODOLOGIA.....	96
6.2. CONTRIBUIÇÃO	98
6.3. SUGESTÕES DE IMPLEMENTAÇÃO	99
6.4. TRABALHOS FUTUROS.....	99
REFERÊNCIAS	101

1.INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar (Figura 1). As operações agrícolas representam 67,16% dos custos de produção do álcool e açúcar (XAVIER, 2012) (Figura 2). A agroindústria canavieira é uma das áreas que mais emprega tecnologia na produção agrícola. Os sistemas de informação estão presentes em praticamente todas as operações agrícolas como também nas áreas de mecanização, irrigação, geoprocessamento, qualidade da matéria prima, administração e gerenciamento.

Figura 1 - Estimativa de produção de cana-de-açúcar no Brasil safra 2017/2018.

Fonte: (MAPA, 2017).

O processo de produção agrícola de cana-de-açúcar é caracterizado pela presença de diferentes empresas encarregadas de um conjunto específico de operações ou responsabilidades. Há uma troca intensa de dados entre os sistemas de informação

de cada empresa participante da cadeia produtiva. O compartilhamento dos dados permite a administração das operações agrícolas e a tomada de decisões gerenciais e estratégicas. (Figura 3).

Figura 2 - Distribuição de custos de produção de açúcar e álcool no Brasil.

Fonte: (XAVIER, 2012).

Apesar de existirem vários formatos para a troca de dados entre os sistemas de informação agrícola canavieira, a interpretação dos dados é feita por especialistas ou incorporada nas regras de negócio de cada sistema. Esta característica pode causar problemas de interpretação, por exemplo: o mesmo dado pode ter significados diferentes em cada sistema, muitas vezes impedindo a interoperabilidade da cadeia produtiva e dificultando a gestão do conhecimento.

Figura 3 - Características da Cadeia Produtiva de Cana de Açúcar.

Fonte: autor.

As empresas produtoras de cana-de-açúcar no Brasil, assim como todos os agricultores que utilizam tecnologia em larga escala, geram amplas quantidades de dados sobre suas operações agrícolas e não possuem uma distribuição de dados eficiente entre os vários agentes da cadeia produtiva.

As maneiras mais usuais para compartilhamento dados ainda são: troca de arquivos texto (assistidos por vários padrões comerciais), compartilhamento de base de dados (via Internet ou *links* dedicados) e acesso remoto a serviços distribuídos, como por exemplo, através de *web services*.

Neste modelo de compartilhamento, os dados são distribuídos entre os agentes, porém cada agente será responsável pela análise e interpretação dos dados que recebe, gerando informações e, na sequência, conhecimento. Isso acontece porque apesar de os dados serem abundantes e estarem disponíveis quase em tempo real, não há conhecimento específico sobre as operações agrícolas agregado a estes dados, dificultando sua análise e interpretação (Figura 4).

Figura 4 - Características da troca de dados entre os sistemas de informação agrícola da cana-de-açúcar.

Fonte: autor.

Ainda neste modelo de compartilhamento, também é necessária a presença de um especialista, pessoa responsável pelos dados ou configurações das ferramentas que fazem esta análise, baseadas nas regras do negócio. Cada agente da cadeia mantém sua própria estrutura de análise e interpretação baseada no conhecimento do especialista, e cada nova carga de dados requer nova análise e interpretação, afim de obter informações úteis para o gerenciamento operacional e estratégico.

A falta de informações agregadas aos dados coletados pelas operações agrícolas dificulta a análise e interpretação dos dados e onera o processo decisório, devido ao constante retrabalho e à frequente manutenção da estrutura do software especialista. Este quadro poderia ser revertido se o conhecimento específico sobre as operações agrícolas da cana-de-açúcar pudesse ser agregado à estrutura que representa os dados distribuídos, e estivesse prontamente disponível para todos os atores da cadeia produtiva.

Neste contexto, esta pesquisa investigou modelos conceituais para descrição do conhecimento técnico e operacional associado às operações agrícolas da cana-de-açúcar, com o objetivo de conferir formalismo matemático e computacional. Este

modelo permite que os agentes de software dos sistemas de informação agrícola acessem o conhecimento técnico e possam classificar os dados semanticamente, estabelecendo relacionamentos, conexões, regras e limitações entre os conceitos e recursos das operações agrícolas.

1.2. Objetivos

Para se permitir a interoperabilidade entre os sistemas agrícolas canavieiros, e por consequência, a redução dos custos relacionados a geração, organização, armazenamento e aplicação dos conhecimentos relacionados as operações agrícolas é imprescindível representar estes conhecimentos de maneira adequada, sistematizada e interpretável tanto por humanos quanto por máquinas. Para isso foram definidos os seguintes objetivos para este trabalho (Figura 5):

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi propor um modelo conceitual computacional para descrever o conhecimento técnico e operacional das operações agrícolas da cultura da cana-de-açúcar com formalismo semântico e ontológico.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1.2.2.1. Descrever o conhecimento das operações agrícolas

Definir técnicas computacionais para descrever com formalismo matemático e ontológico o conhecimento sobre as operações agrícolas da cana de açúcar.

1.2.2.2. Capturar, interpretar, armazenar e compartilhar o conhecimento

Definir métodos para a capturar o conhecimento de maneira ordenada, armazená-lo de forma a permitir a inferência de novos relacionamentos entre os conceitos de maneira autônoma e compartilhar o conhecimento com outros sistemas agrícolas na cadeia produtiva de cana-de-açúcar.

1.2.2.3. Promover a interoperabilidade na cadeia de produção

Definir e/ou identificar padrões para representação de conhecimento que descrevam adequadamente o conhecimento específico da cadeia produtiva da cana-de-açúcar e que permitam a captura, armazenamento e compartilhamento.

Figura 5 - Objetivo geral e objetivos específicos do trabalho.

Fonte: autor.

1.3. Justificativa

Segundo Dzunic e Subotic (2014) para uma empresa alcançar um nível de vantagem competitiva sustentável nos dias atuais deve-se dar primazia ao conhecimento. O movimento em direção a vantagem competitiva baseada no conhecimento tornou-se um imperativo, não só para os indivíduos, mas também para as estratégias das organizações e do país.

Ducker (1992) foi um dos primeiros autores a visualizar a importância que o conhecimento poderia ter na criação de benefícios econômicos para as organizações e sociedade em geral. Este tipo de economia foi chamado “economia do conhecimento”. Na economia do conhecimento, se a empresa quer ser bem-

sucedida e ganhar competitividade estratégica, é necessário aumentar constantemente o seu valor com o conhecimento que possui (Figura 6).

Figura 6 - Economia do conhecimento.

Fonte: (DUCKER, 1992).

Gestão do conhecimento representa a adoção de conhecimento coletivo para atingir os objetivos de negócio da empresa. Segundo O'Dell e Hubert (2011), gestão do conhecimento é um esforço sistemático para possibilitar que as informações e o conhecimento cresçam, fluam e criem valor para a empresa, garantindo que as pessoas tenham acesso ao conhecimento certo?, no lugar certo e no momento certo.

Gestão do conhecimento é uma junção de três componentes: pessoas, processos e tecnologia. Segundo Macintosh (1995), o ciclo de vida da gestão do conhecimento possui os seguintes estágios: (1) criação do conhecimento, (2) captura do conhecimento, (3) armazenamento do conhecimento, (4) compartilhamento do conhecimento com outras pessoas e (5) aplicação do conhecimento (Figura 7).

Figura 7 - Ciclo de vida da gestão do conhecimento.

Fonte: (MACINTOSH, 1995).

O conhecimento torna-se útil e utilizável somente se ele se encaixa no contexto em que é utilizado. Esta é a justificativa para a tecnologia de sistemas especialistas, que se baseia no conhecimento heurístico ou no conhecimento dos especialistas do domínio, e não no conhecimento objetivo, como na teoria do domínio (GAFFAR et al., 2004). Ainda de acordo com Gaffar et al (2004), os sistemas especializados têm alto desempenho ao custo da não reutilização do conhecimento e baixa produtividade do desenvolvimento de uma base de conhecimentos. Uma das ideias bem conhecidas para resolver este problema é a decomposição da conhecimento em dois tipos: (1) conhecimento dependente domínio e (2) conhecimento dependente da tarefa (IKEDA et al., 1998) (Figura 8).

Figura 8 - Decomposição do conhecimento.

Fonte: (IKEDA et al., 1998).

De acordo com Martins e Falbo (2008), um fator chave para capturar o conhecimento é ter um modelo para representá-lo. Como um modelo é uma representação abstrata de um sistema real, a abstração pode ser usada para remover detalhes desnecessários ou irrelevantes do sistema, para que este possa ser melhor entendido (GAFFAR et al., 2004) (Figura 9).

Figura 9 - Finalidade dos modelos conceituais.

Fonte: (MARTINS; FALBO, 2008).

Um modelo para representar o conhecimento dependente da tarefa deve ser capaz de descrever: (1) quais tarefas são necessárias para atingir um objetivo, (2) os agentes que executam a tarefa, (3) o intervalo de tempo de execução da tarefa, e (4) quais recursos (entradas) são consumidos e quais produtos (saídas) são gerados (ABRAHÃO; HIRAKAWA, 2017) (Figura 10). Um modelo de ontologia de tarefas pode permitir que agentes (humanos ou máquinas) infiram conhecimento sobre tarefas usando técnicas semânticas para reconhecimento, negociação e realocação de tarefas (SCHMIDT et al., 2016).

Figura 10 - Características de um modelo para representação de conhecimento dependente de tarefa.

Fonte: (ABRAHÃO; HIRAKAWA, 2017)

A limitação dos trabalhos relacionados à descrição do conhecimento na área agrícola está na concentração de estudos no conhecimento de *domínio*, ao invés do conhecimento associado as *tarefas* (Figura 11). Esse cenário justifica a importância de um estudo das técnicas para modelagem conceitual e a proposta de um modelo para ontologia de tarefas agrícolas, conforme descrito no objetivo deste trabalho.

Figura 11 - Limitação (GAP) dos trabalhos relacionados a descrição do conhecimento na área agrícola.

Fonte: autor.

Uma vez que o conhecimento sobre as operações agrícolas da cana-de-açúcar esteja formalmente representado, ele estará disponível para os agentes de software sem que haja a necessidade de se conhecer toda a cadeia das operações agrícolas.

1.4. Material e Métodos

Uma vez definidos o objetivo geral e os objetivos específicos, foi proposta uma metodologia para descrever o conhecimento das operações agrícolas da cana-de-açúcar que consiste dividida em cinco passos:

- (1) Estudo dos formalismos para descrição do conhecimento: foram estudados os padrões de troca de dados nas empresas agrícolas, os formatos utilizados, suas vantagens e limitações dentro do contexto específico da agroindústria canavieira. Investigou-se também as características específicas das operações agrícolas, como tratam a troca de dados no contexto da execução de tarefas agrícolas complexas, geograficamente distribuídas, dependentes do clima, sujeitas a problemas logísticos e limitações operacionais.

- (2) Definição de uma base comum de compartilhamento: Uma vez definido um formalismo para descrição do conhecimento foi definida uma base comum para descrição de conceitos básicos, independentes do domínio das operações agrícolas da cana-de-açúcar que permita o compartilhamento de conhecimento entre os sistemas. A base comum permite que todos os sistemas compartilhem as visões estruturais e comportamentais das operações agrícolas: agentes, tarefas, tempo e recursos.
- (3) Descrição das operações: Uma vez definido um formalismo e uma base comum para representação dos conceitos básicos foi definido um modelo gráfico para representação dos processos. O modelo gráfico permite um maior entendimento das etapas que envolvem a execução de uma operação agrícola, dos agentes que a executam, dos recursos consumidos ou gerados e dos eventos externos que podem influenciar na execução da tarefa.
- (4) Estudo de caso: uma vez definido o modelo conceitual para descrever os processos deve-se testar o modelo em uma situação real de uma operação agrícola canavieira. Foi selecionada para o estudo de caso a colheita de cana-de-açúcar e dois modelos foram produzidos: um para a colheita manual e outro para a colheita mecanizada. A complexidade da operação selecionada para o estudo de caso permitiu testar a representatividade de todos os elementos gráficos do modelo para descrever formalmente os aspectos estruturais e comportamentais das operações.
- (5) Avaliação de qualidade: os elementos do modelo proposto foram avaliados em relação a sua aderência com o formalismo de base comum selecionado e os elementos estruturais e comportamentais propostos atestando o grau de conformidade com os elementos do estudo de caso.

1.5. Organização do documento

O primeiro capítulo desse documento contextualizou o problema investigado e expôs o objetivo do doutorado, assim como a justificativa para sua execução. O Capítulo 2 discute os trabalhos relacionados à descrição do conhecimento técnico e operacional das operações agrícolas da cana-de-açúcar, as técnicas para descrição e troca de dados entre sistemas agrícolas, e os modelos para representação de processos de negócio ou tarefas. O Capítulo 3 define os conceitos de ontologia,

discute os trabalhos relacionados a modelagem conceitual, ontologias de fundamentação, domínio, tarefa e aplicação, técnicas construção e avaliação de ontologias. O Capítulo 4 elucida o modelo conceitual para representação de ontologia de tarefa utilizado como base para o modelo e a proposta para representação de eventos externos a tarefa, apresentando a estrutura do modelo e sua aderência ao formalismo da ontologia de fundamentação selecionada. O Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos em dois aspectos: (1) Um estudo de caso aplicando o modelo proposto na operação agrícola da colheita de cana-de-açúcar, (2) A avaliação do modelo conceitual segundo as metodologias de avaliação para qualidade de modelos conceituais de ontologia. Por fim, o Capítulo 6 abrange as conclusões desse trabalho e possíveis direções para futuras pesquisas.

2. OPERAÇÕES AGRÍCOLAS

Neste capítulo são apresentadas algumas definições para termos que serão utilizados no decorrer desta investigação e também uma revisão sobre os trabalhos relacionados com a descrição das operações agrícolas da cana-de-açúcar, assim como os padrões utilizados para troca de dados em sistema em geral e especificamente para a área agrícola.

2.1. Definições

Durante este estudo, vários termos relacionados aos sistemas de informação foram utilizados. A seguir, as definições dos mesmos no contexto deste trabalho:

- (1) **Dados, Informação e Conhecimento:** Zins (2007) cita 28 definições de vários pesquisadores a respeito destes conceitos. Para fins deste trabalho foi selecionada a seguinte: **DADOS:** fatos e estatísticas que podem ser quantificados, medidos, contados e armazenados. **INFORMAÇÃO:** é dados que foi categorizado, contado e por consequência possui valor, relevância e propósito. **CONHECIMENTO:** emerge da análise, reflexão sobre e síntese da informação. É utilizado para fazer diferença em uma empresa, aprender uma lição ou resolver um problema.
- (2) **Operação x Atividade x Tarefa:** No contexto ontológico, **TAREFA** é uma ação ou conjunto de ações que acontecem com determinado propósito, executada por um ou mais agentes, consumindo ou produzindo recursos em um determinado intervalo de tempo. No contexto deste trabalho **OPERAÇÃO, ATIVIDADE e TAREFA** são considerados sinônimos.
- (3) **Agente:** indivíduo que executa uma tarefa.
- (4) **Recurso:** material, máquina, ferramenta, instrumento ou insumo, consumido ou produzido por uma tarefa. A tarefa pode, por definição “consumir” um recurso e para que a tarefa seja executada é necessária a presença deste recurso na quantidade necessária. A tarefa também pode “originar” um recurso, a medida em que esta transforma ou modifica um ou mais recursos consumidos para gerar um “novo” recurso como resultado de sua execução.

- (5) **Estado:** é a condição em que um recurso consumido ou produzido por uma tarefa se encontra em determinado ponto do tempo. A natureza das tarefas é modificar o estado dos recursos como resultado de sua execução.
- (6) **Evento:** ação que gera um efeito em uma tarefa. Pode ser gerado por uma outra tarefa ou por um evento externo. Pode ser planejada e esperada em determinado momento, pode ser planejada porem acontecer em instante incerto no tempo ou pode ser não planejada e acontecer em momento incerto no tempo.

2.2. Sistemas de informação agrícolas da cana-de-açúcar

Há uma grande diversidade de padrões e mecanismos para troca de informações utilizados em empresas agrícolas canavieiras. Essa diversidade se dá, em parte, pela grande quantidade de sistemas necessários para atender todas as operações agrícolas envolvidas. Abaixo são citados os processos mais comuns nas empresas agrícolas canavieiras e os sistemas de informação associados a estes processos segundo Miniquiel (2008):

- Gerenciamento de áreas de produção:
 - Cadastros básicos;
 - Sistema geográfico de informações;
 - Observações agronômicas;
 - Acompanhamento e qualidade de plantio;
 - Recomendação de adubação;
 - Estimativas de produção;
 - Liberação para colheita;
- Gerenciamento de operações agrícolas:
 - Controle da moto-mecanização e operadores;
 - Meteorologia;
 - Controle de perdas na colheita;
 - Aplicação de insumos;
 - Controle de pragas de solo e plantas daninhas;
 - Monitoramento de pragas e doenças;
 - Gestão de mão-de-obra de rurícola;

- Recepção e pagamento de matéria-prima:
 - Pesagem de cana e outros produtos;
 - Laboratório de sacarose (pré e pós-colheita);
 - Serviços de terceiros / fretistas;
 - Pagamento de cana por teor de sacarose (PCTS);
 - Contas correntes de fornecedores;

A princípio, estes sistemas devem manter interfaces para troca de dados entre si e entre os sistemas equivalentes de outros integrantes da cadeia produtiva, conforme discute-se a seguir.

2.3. Padrões para troca de dados na agroindústria canavieira

Estudando a estrutura dos sistemas de informação agrícola identifica-se os seguintes formatos de troca de dados nas empresas agrícolas canavieiras:

- Compartilhamento de banco de dados (mais comum entre sistemas de uma mesma empresa ou grupo econômico);
- Troca de arquivos texto formato ASCII (Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação);
- Troca de planilhas eletrônicas;
- Arquivos com formatos proprietários (mais utilizado entre sistemas comerciais);
- Web Services (mais comum nos últimos anos).
- Redigitação de Dados, um exemplo: O Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) exige, através do programa SAPCana (Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira), que dados de produção de cana e venda de açúcar e álcool sejam digitados em seu sítio web quinzenalmente. Mais detalhes de cada padrão são apresentados a seguir.

2.4. Padrões para troca de dados

Abaixo são apresentados os principais padrões para a troca de dados. Apesar de o texto no formato ASCII não ser um padrão propriamente dito, ainda é muito utilizado na cadeia produtiva de cana de açúcar. É essencial compreender o contexto em que

os dados trafegam na cadeia produtiva, e quais são as limitações dos formatos discutidos em relação as descrições do conhecimento técnico das operações agrícolas (Figura 12).

Figura 12 - Padrões para troca de dados na área agrícola.

Fonte: autor.

2.4.1. Texto Formato ASCII

Segundo Karwowski (2010), historicamente, a troca de informações eletrônica é feita a partir de arquivos de texto no formato ASCII. Para que o emissor possa recuperar a informação é necessária uma estrutura para o arquivo. Geralmente, essa estrutura faz parte do código fonte do software emissor/receptor, e no caso de serem necessárias modificações no formato do arquivo de troca, é preciso a edição do código fonte do programa.

2.4.2.EDI (Electronic Data Interchange)

Um dos primeiros padrões para troca de documentos em grandes organizações sem intervenção humana foi o padrão EDI (FIPS PUB 161-1, 1993), também conhecido como UN/EDIFACT (*the United Nations rules for Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport*), foi desenhado para ser independente das tecnologias de comunicação e software e para trocar documentos através de redes dedicadas seguras. Segundo Füzesi e Herdon (2007), para se realizar o EDI é necessário que haja um acordo de negócio entre uma pessoa, empresa e seu parceiro de negócios, estabelecimento de um formato padrão para o documento a ser trocado, um software tradutor e gerenciador de EDI para converter o documento do formato da aplicação para o formato EDI e vice versa, um software de comunicação, e finalmente uma rede ponto a ponto com o parceiro de negócios.

2.4.3.XML (eXtensible Markup Language)

O XML foi desenvolvido pelo *World Wide Web Consortium* (W3C, 2008). É um formato de texto extensível, que pode ser lido tanto por humanos quanto por computadores. Entretanto quando se cria um documento em XML, os usuários não utilizam um conjunto específico de *tags* pré-existentes como no HTML e sim suas próprias *tags*, que podem dar nomes e isso é que caracteriza a versatilidade do XML em armazenar qualquer formato de dados. Para que um documento XML seja corretamente interpretado é necessário que siga uma estrutura correta. Esta estrutura é descrita por um “*schema*”. Um “*schema XML*” (W3C, 2007) é como uma gramática que descreve o tipo de XML do documento, tipicamente definindo restrições quanto à estrutura e conteúdo deste documento em relação às restrições impostas pelo próprio XML. Um “*schema XML*” pode definir:

- Elementos que podem aparecer em um documento;
- Atributos que podem aparecer em um documento;
- Que elementos são elementos filhos;
- A ordem dos elementos filhos;
- O número de elementos filhos;
- Se um elemento é vazio ou pode incluir texto;

- Tipos de dados para elementos e atributos;
- Valores padrão e fixos para elementos e atributos.

2.4.4.JSON (JavaScript Object Notation)

JSON (ECMA, 2017) é uma formatação leve de troca de dados. Para seres humanos é fácil de ler e escrever. Para máquinas é fácil de interpretar e gerar. Está baseado em um subconjunto da linguagem de programação JavaScript, Standard ECMA-262. JSON está constituído em duas estruturas:

- Uma coleção de pares nome/valor. Em várias linguagens, isto é caracterizado como um *object*, *record*, *struct*, dicionário, *hash table*, *keyed list*, ou *arrays* associativas.
- Uma lista ordenada de valores. Na maioria das linguagens, isto é caracterizado como uma *array*, vetor, lista ou sequência.

2.4.5.RDF (Resource Description Framework)

RDF (W3C, 2014) é um linguagem baseada em XML para descrever informação em um recurso web. Um recurso pode ser uma página web, um sítio inteiro ou qualquer item da web que contenha informação em algum formato. RDF permite a codificação, troca e reuso de meta-dados estruturados (CANDAN; LIU; SUVARNA, 2001). RDF pode ser utilizado um uma série de aplicações:

- Localização de recursos: RDF vai permitir que ferramentas de busca possam localizar recursos na web com maior facilidade;
- Catalogação: RDF vai permitir aos usuários que descrevam melhor o conteúdo e as relações entre os conteúdos de uma página web, sítio ou biblioteca digital em particular;
- Agentes inteligentes de software: RDF permite compartilhamento e troca de conhecimento e permite que agentes de software façam busca de informações, filtragem e mesclagem mais eficiente;
- Classificação de conteúdo: RDF permite classificação de conteúdo;
- Direito de propriedade intelectual: RDF permite usuários facilmente expressar e enfatizar a propriedade intelectual de *websites*;

- Preferências de privacidade e políticas de privacidade: RDF permite a usuários de *websites* expressar suas preferências de privacidade e políticas de privacidade que podem ser interpretadas por aplicações;
- Assinaturas Digitais: RDF é um fator chave para a construção de “Websites Confiáveis”, para *e-commerce*, colaboração e para outras aplicações.

2.4.6.OWL (Web Ontology Language)

Deve-se utilizar OWL (W3C, 2004) quando a informação contida em documentos precisa ser processada por aplicações, o oposto da situação nas quais o conteúdo precisa ser apresentado a seres humanos. OWL pode ser utilizada para representar explicitamente o significado de termos em vocabulários e os relacionamentos entre estes termos. Essa representação dos termos e seu significado é chamada de ontologia. OWL tem maior facilidade em expressar significado e semântica do que XML e RDF.

2.5. Comparação entre os principais padrões

Apesar de os padrões de representação e troca de dados não serem utilizados unicamente na internet eles têm sido o fundamento do que se chama de “Web Semântica”. O termo “Web Semântica” (W3C, 2015) refere-se a tecnologias que permitirão as pessoas a criar e armazenar dados na web, construir vocabulários e escrever regras de como manipular estes dados. Os mesmos princípios podem ser utilizados para sistemas não interligados a internet que ainda assim precisam trocar informações entre si. Analisando padrões citados neste capítulo, seguem suas diferenças:

- O XML fornece uma estrutura superficial para documentos, porém não impõe restrições semânticas ao significado destes documentos. O XML utiliza a linguagem XML Schema para restringir a estrutura de documentos XML e também estender os tipos do XML.
- O RDF é um modelo de dados para objetos que representa recursos e os relacionamentos entre eles, proporcionado uma semântica simples para o modelo de dados baseado em triplas: sujeito, predicado e objeto, sendo que este modelo pode ser representado em XML. Análogo ao XML Schema o

RDF Schema descreve as propriedades das classes de recursos RDF com uma semântica para representar as generalizações das hierarquias dessas propriedades e classes.

- O JSON se limita a descrever pares de chave/valor sem acrescentar nenhuma semântica a estes dados, sendo uma solução para transporte de dados que privilegia o pequeno tamanho dos pacotes de dados transmitidos via internet.
- OWL adiciona mais vocabulário para descrever propriedades e classes de que o RDF, além de descrever relacionamentos entre classes, cardinalidade, tipos complexos de propriedades, características de propriedades e classes enumeradas.

Enquanto o XML e o JSON se limitam a descrição dos dados sem impor regras semânticas, o RDF implementa o conceito de *Uniform Resource Identifier* (URI) que permite nomear os recursos na web e a OWL adiciona mais recursos semânticos permitindo a descrição de relacionamentos complexos entre os conceitos (Tabela 1). Em uma escala de complexidade semântica crescente tem-se JSON, XML, RDF e OWL. A seguir, são analisados os padrões mais utilizados na área agrícola.

Tabela 1 - Comparação entre os principais formatos para troca de dados entre sistemas.

Descrição de	ASCII	JSON	XML	RDF	OWL
Estruturas de dados		X	X	X	X
Estruturas hierárquicas de metadados			X	X	X
Triplas: sujeito, predicado e objeto				X	X
Atributos e relacionamento de classes					X

Fonte: autor.

2.6. Padrões para troca de dados na área agrícola

A Europa é pioneira na definição de padrões para troca de informações na área agrícola. Projetos como o agriXchange (TEYE; HOSLTER; PESONEN, 2010), iniciado em 2010, tem como objetivos: (1) o estabelecimento de uma plataforma para troca de dados na Europa, (2) desenvolvimento de um *framework* para

interoperabilidade na cadeia produtiva e (3) identificação dos principais desafios na padronização da troca de dados.

Ainda segundo Teye, Hosltter e Personen (2010), a maioria dos países do bloco europeu mencionam somente definições de dados (semântica) e padrões públicos como XML e *webservices*. Entre estes padrões pode-se citar:

- Agro EDI (Europa): iniciativa da França em montar vários padrões de EDI para a área agrícola. Iniciou em 1992 e mantém várias versões de formatos que tiveram que ser atualizados com o passar dos anos.
- ISO Agrinet (Internacional): especializado na definição de dicionários, definindo termos comuns para utilização na área agrícola. Também desenvolveram trabalhos de hipertexto.
- agriXchange (França): Não é propriamente um padrão, mais sim uma iniciativa de vários países europeus em montar um grupo para discutir a troca de dados na cadeia produtiva agrícola europeia, incentivar a adoção de padrões para troca de dados e melhorar os padrões existentes.
- AGROVOC (Europa): Também não é um padrão e sim um projeto que visa a construção de um dicionário mundial de termos agrícolas. A iniciativa visa promover a padronização definindo os termos correspondentes em várias línguas diferentes.
- E-daplos (França): formato eletrônico que descreve um formulário que os produtores franceses trocam com seus fornecedores a respeito de informações de cultivo.
- AgroConnect (Países Baixos): troca de informações na área de proteção de plantas.
- AgroXML (Alemanha e outros países): Padrão desenvolvido pelo KTBL (MARTINI; SCHMITZ; KUNISCH, 2011) versátil e customizável pela construção de extensões (“profiles”) com as seguintes características:
 - Especializado em operações agrícolas;
 - Cobre planta, cultivo e identificação de propriedade;
 - Permite localização geográfica;
 - Permite rastreabilidade na cadeia de produção;

- Baseado em XML e especificado com XML *Schema*;
- Pode ser estendido para outras culturas e outros países.
- AgroRDF (MARTINI, DANIEL; SCHMITZ, MARIO, MIETZSCH, 2013): introduz uma camada semântica ao AgroXML permitindo a identificação de recursos e o estabelecimento de relacionamentos com regras e limitações entre os recursos;

Segundo Keet (2009), pesquisas sobre padrões para trocas de dados fora da Europa restringem-se a poucas iniciativas isoladas:

- AgXML (EUA): troca de dados XML somente para cultura de grãos e oleaginosas.
- BIX-pp (Japão): (HOSHI, 2003) criou o BIX-pp um padrão XML para troca de dados de produção de plantas de propósito genérico. No sítio do projeto, o autor fornece o XML Schema do BIX-pp além de estudos de caso e exemplos de aplicações. Não trata toda a cadeia de produção, sendo especializado somente no cultivo.
- M-XML (EUA): (SCHUSTER; LEE, 2009) do MIT – EUA, apresenta um padrão M-XML especializado em mesclar dados agrícolas de diferentes origens utilizando um dicionário de termos para evitar duplicidade de definições. Mais utilizado para integração de bancos de dados.

Apesar de existirem diversos padrões para troca de informações na área agrícola (domínio) nem todos são utilizados diretamente nas operações agrícolas (tarefas). Por isso, além de compreender os padrões é necessário compreender como as operações agrícolas podem ser representadas em sistemas computacionais, estudando os modelos formais para descrição de fluxos de processo de trabalho. O primeiro passo nesse sentido é análise de tarefas conforme segue.

2.7. Análise de tarefas

Segundo Martins (2009), a análise de tarefa é uma atividade de modelagem na qual o analista deve identificar o problema a ser solucionado, bem como suas entradas (recursos) e saídas (produtos). Segundo Liu e Fang (2006) o foco inicial para construir um modelo de tarefa é concentrar nos conceitos mais importantes da

tarefa. O resultado desta construção pode ser uma especificação formal, porém, segundo Mizoguchi, Tijerino e Ikeda (1995), frequentemente é uma descrição informal inicial de um problema. A análise de tarefa é dividida em dois passos (IKEDA et al., 1998): (1) identificação superficial e (2) análise detalhada da tarefa. Enquanto a identificação superficial é um problema de classificação com base em fontes de conhecimento sobre a tarefa (diagnose, configuração, controle, desenho, entre outros) a análise detalhada está relacionada aos especialistas do domínio e se refere a articulação necessária de como executar a tarefa (CHUANG; FANG, 2007), (MARTINS, 2009). A seguir serão analisados alguns modelos para representação de tarefas no setor sucroalcooleiro e agrícola em geral.

2.8. Modelos para representação computacional de tarefas na área agrícola

Segundo Yamada, Porto e Inamasu (2002) o processo produtivo sucroalcooleiro pode ser descrito como uma sequência de operações unitárias agrícolas (interface insumo/usinas) e industriais (elo usinas) que produz cana-de-açúcar, e da qual se obtêm, como produtos finais, o açúcar e o álcool, e inúmeros outros subprodutos, entre eles o bagaço e a vinhaça, reutilizados como insumos, no próprio desenvolvimento desse processo produtivo. Ainda segundo Yamada, Porto e Inamasu (2002) as operações agrícolas podem ser em: (1) Plantio: preparo e reforma do solo, plantio e crescimento do canavial, (2) Corte e carregamento: preparo para colheita, corte, carregamento, movimentação de matéria-prima dentro do canavial e (3) Transporte, pesagem e amostragem: transporte de matéria-prima até a usina, pesagem e amostragem dos veículos de transporte na entrada da usina.

Segundo um levantamento dos custos de produção de cana de açúcar realizado por (MARQUES, 2009), Tabela 2, as operações agrícolas foram classificadas em: (1) Preparo de solo e plantio, (2) Tratos culturais de soqueira e (3) Corte, carregamento e transporte.

A modelagem para descrição de operações agrícolas considera a representação de sistemas com características concorrentes ou paralelas (quando um ou mais eventos são independentes, ou seja, um ou mais podem ocorrer antes, depois ou ao mesmo tempo que outros), assíncronas (eventos podem ocorrer ou se repetir sem

uma periodicidade), e distribuídas (o controle da ocorrência de eventos não é centralizada) (YAMADA; PORTO; INAMASU, 2002).

O conceito de “Relacionamento entre Processos” (PR), proposto por Li et al (2013), Figura 13, descreve os relacionamentos entre as operações de cultivo de plantas sendo:

PR = {SeqR, OrR, SynR, SelR, CirR}

Tabela 2 - Principais operações agrícolas da cana-de-açúcar.

Etapa / fase			Insumos
Preparo de solo /plantio	Trator culturais de soca	Corte, carreg. e Transporte	Descrição
Marcação/Topografia	Carpa química	Aceiro	Fertilizantes
Análise de solo	Repasse	Queima	Corretivos
Dessecação para plantio	Aplicação de herbicida	Corte mecanizado	Herbicidas
Aração	Aplicação de inseticida	Corte manual	Inseticidas
Sistematização de terreno	Aplicação de nematicida	Catação de bituca	Nematicidas
Confecção de terraços	Transporte de insumos	Carregamento	Maturadores
Gradagem pesada	Tríplice operação	Transbordo	Mudas
Gradagem Intermediária	Transporte de água	Transporte	
Gradagem niveladora	Irrigação de apoio		
Subsolagem	Cultivo/Adubação		
Manutenção de estradas	Catação		
Transp. e carregamento de mudas	Combate de Pragas		
Calagem			
Gessagem			
Cobrição			
Sulcação/Adubação			
Plantio Mecanizado			
Plantio Manual			

Fonte: (MARQUES, 2009).

Onde:

OC = Operação Canavieira;

i = índice que identifica uma operação agrícola unitária;

j = índice que identifica uma outra operação agrícola diferente da de índice i ;

n = índice que identifica a enésima operação agrícola;

De maneira que existam:

- SeqR: $\exists OC_i, OC_j \in OC$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$ e $i \neq j$) relacionamento de sequência, SeqR (OC_i, OC_j) existe com significado de que há duas operações que seguem uma ordem. Somente depois que OC_i termina, OC_j pode começar. Por exemplo: somente após o corte da cana pode acontecer o transporte rodoviário: SeqR(corte, transporte).
- OrR: $\exists OC_i, OC_j \in OC$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$ e $i \neq j$) relacionamento ou, OrR ($OC_1, \dots, OC_m$) existe onde $OC_i \vee OC_j$, o que significa que há duas operações onde deve ocorrer a escolha de uma ou ambas para atingir os objetivos. Por exemplo: o corte de cana pode ser Manual ou Mecanizado ou ambos. OrR(Corte Manual, Corte Mecanizado).
- SynR: $\exists OC_1, \dots, OC_n \in OC$ e com $n \geq 2$ relacionamento paralelo, existe SynR ($OC_1, \dots, OC_n$), o que significa que operações $OC_1, \dots, OC_n$ devem iniciar e terminar ao mesmo tempo. Por exemplo: na fertirrigação a distribuição de adubo deve iniciar e terminar ao mesmo tempo que a irrigação. SynR(Adubação, Irrigação).
- SelR: $\exists OC_i, OC_j \in OC$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$ e $i \neq j$) relacionamento seleção, existe SelR ($OC_1, \dots, OC_n$) onde $OC_i \wedge \neg OC_j$ ou $OC_i \wedge OC_j$, o que significa que entre duas operações somente pode-se escolher uma. Por exemplo: no controle da Broca da Cana-de-Açúcar deve-se escolher o controle com inseticida ou o controle biológico (vespa) e nunca ambos. SelR(Inseticida, Biológico).
- CirR: $\exists OC_1, \dots, OC_n \in OC$ e $n \geq 1$ relacionamento circular, existe CirR ($OC_1, \dots, OC_m$), o que significa que de acordo com certas restrições, uma ou mais operações pode ser repetida. Por exemplo: no controle de ervas

daninhas deve-se repetir a operação caso haja reincidência das ervas em determinado local.

Outro ponto importante a ser considerado na modelagem de sistemas computacionais é a representação do conhecimento temporal e raciocínio temporal. As relações temporais propostas por Allen (ALLEN, 1983) utilizam a primitiva de intervalo temporal e propõem um método para descrever o relacionamento entre intervalos temporais de uma maneira hierárquica utilizando técnicas de propagação de restrições. (Figura 14). A seguir serão analisadas outras metodologias de modelagem de processos que consideram as características específicas das operações agrícolas.

Figura 13 - Relacionamento entre processos (PR).

Fonte: adaptado de (LI et al., 2013).

Figura 14 - Relações temporais de Allen: Um evento se relaciona com um Evento A de forma sequencial ou paralela segundo restrições impostas ao relacionamento.

Fonte: adaptado de (ALLEN, 1983).

2.8.1. Redes de Petri

Segundo Murata (1989), Redes de Petri são ferramentas que descrevem e estudam sistemas de processamento de informações que são caracterizados por serem concorrentes, assíncronos, distribuídos, paralelos, não determinísticos e/ou estocásticos. Guan, Nakamura e Shikanai (2010) propõem a utilização de Redes de Petri híbridas para descrever o planejamento e otimização das operações agrícolas devido a quantidade de incertezas que podem influenciar estas operações. Os autores citam como exemplo, a produção de cana-de-açúcar, no qual para modelar o processo variável de cultivo devido a mudanças ambientais, foi aplicada a rede de Petri híbrida representando as atividades agrícolas discretas e contínuas. Por exemplo, as principais operações para a produção de cana envolvem preparo de solo, plantio, irrigação, cultivo, adubação e colheita. Cada operação começa quando satisfaz as condições, tais como ordem de operação, disponibilidade de terras agrícolas, máquinas, trabalho humano e assim por diante. Após a conclusão da operação, as terras agrícolas se deslocam para o próximo estado, e os recursos, tais como as máquinas e mão de obra são liberados e estão prontos para os outros trabalhos. Neste modelo, o trabalho agrícola é definido como a transição; a condição ou estado de uma área ou um recurso como o lugar, e recursos como o trabalho

humano ou máquinas como as marcações. As transições correspondentes as operações agrícolas e os locais correspondentes as áreas cultivadas são a parte contínua do modelo; caso contrário, os locais são discretos. Um processo de cultivo é uma transição contínua e a velocidade da operação é determinada pela capacidade do trabalho, a eficiência da máquina, ou uma combinação de ambas. Incertezas, tais como quebra de maquinário e paradas, e do estado dos recursos, área cultivada e máquina são consideradas como objetos discretos. Prata (2007) propõe um modelo, baseado em redes de Petri, que permite o controle supervisório da Cadeia Produtiva do Biodiesel da Mamona (CP/BDMA), com objetivo de garantir sua efetividade. O autor desenvolveu um método de controle supervisório baseado em redes de Petri coloridas, denominado *Restrições de Controle sobre Cores Decompostas* (RCCD), sendo também proposta uma arquitetura para o controle supervisório em sistemas logísticos. Yamada, Porto e Inamasu (2002), propõe modelos das cadeias de atividade para as operações produtivas do setor sucroalcooleiro, validados com o uso da rede de Petri, por meio de um método de análise em que são simulados todos os caminhos possíveis e os estados que o sistema modelado pode atingir, (Figura 15).

2.8.2. Autômatos computacionais

Uma das vantagens de se utilizar autômatos computacionais baseados em relógio (*timed automata*) na modelagem de planejamento de tarefas é poder considerar limitações de tempo para as tarefas assim como modelar outros aspectos de comportamento como concorrência e sincronização (FERSMAN; PETTERSSON; YI, 2002). Estes autores estudaram um modelo de sistemas baseados em relógios (*timed systems*) em que autômatos baseados em relógios foram comparados com os modelos de planejamento de tarefas teóricos clássicos (escalonamento de tarefas). O modelo proposto pode ser usado para especificar os requisitos de recursos e limitações de tempo em cálculos computacionais, adicionalmente aos recursos oferecidos por autômatos baseados em relógio.

Figura 15 - Exemplo de Rede de Petri lugar transição para a operação de aplicação de insumo considerando a manutenção dos equipamentos.

Fonte: (YAMADA; PORTO; INAMASU, 2002).

O modelo é genérico e suficiente expressivo para descrever a simultaneidade e a sincronização de tarefas que podem ser periódicas, esporádicas, preemptivas e (ou)

não-preemptivas. Por exemplo, o autômato mostrado na Figura 16 possui três locais l_0 , l_1 , l_2 , e duas tarefas P e Q (desencadeado por a e b) com o tempo de computação e prazo relativo em suportes (2, 10), e (4, 8), respectivamente.

Figura 16 - Autômato baseado em relógio com processos assíncronos.

Fonte: (FERSMAN; PETTERSSON; YI, 2002).

Em outro exemplo, pode-se modelar tarefas periódicas desencadeadas por tempo como um autômato simples como o mostrado na Figura 17 (a), na qual P é uma tarefa periódica com tempo de processamento 2, 8 de prazo e período 20. De modo mais geral, pode-se modelar sistemas contendo tarefas periódicas e esporádicas, como mostrado na Figura 17 (b) que é um sistema que consiste em 4 tarefas como anotação em locais, em que P1 e P2 são periódicas com períodos de 10 e 20, respectivamente (especificado pelas restrições: $x = 10$ e $x = 20$), e Q1 e Q2 são esporádicas ou eventuais acionadas por eventos a e b, respectivamente.

Panek; Engell e Stursberg (2006) também propuseram a utilização de autômatos com relógios (*timed automata*) para o planejamento de tarefas. Segundo os autores, o problema de planejamento de tarefas pode ser definido da seguinte maneira: Um conjunto P de tarefas a serem realizadas utilizando um conjunto M limitado dos recursos disponíveis e reutilizáveis. Cada tarefa é caracterizada pela sua duração, pelos recursos de que necessita para ser executada e por relações de precedência que tem com outras tarefas conflitantes.

Figura 17 - Modelos para tarefas periódicas e esporádicas.

Fonte: (FERSMAN; PETTERSSON; YI, 2002).

Um conflito entre duas ou mais tarefas ocorre quando a demanda simultânea por recursos excede a disponibilidade dos mesmos. O planejamento tem que resolver esses conflitos ao decidir para qual das tarefas deve fornecer o recurso primeiro e quais as tarefas aguardarão a liberação. Diferentes planejamentos levam, naturalmente, a diferentes ordens de execução de tarefas. O objetivo do planejamento eficiente é encontrar uma ordem de execução que induza o comportamento ideal segundo um critério de avaliação. Os mesmos autores ressaltam que o sucesso da técnica empregada nesta proposta dá-se pela utilização da teoria da verificação e o uso modelos dinâmicos baseados em espaço-estado, como autômatos, para representar os sistemas a serem analisados. Os princípios da verificação possuem a seguinte estrutura:

- (1) Cada componente do sistema em questão é modelado como um autômato, no qual o próximo estado é determinado como uma função de estado e das interações correntes possíveis com estados e eventos de outros componentes.
- (2) Nestes modelos, é possível fazer distinções entre as ações controlados e não controlados, isto é, aquelas iniciadas por um componente e as que vêm a partir do seu ambiente exterior, também conhecidos como “eventos externos”.
- (3) A semântica do sistema é definida pelo conjunto de todos os comportamentos que gera, ou seja, sequências de estados e eventos que seguem a dinâmica de cada componente e satisfazem as suas limitações de interação.

(4) Cada comportamento é avaliado de acordo com a satisfação de algumas propriedades desejadas expressas em algum formalismo para descrever os conjuntos de sequências.

(5) O sistema inteiro é avaliado de acordo com a avaliação de alguns ou todos os seus comportamentos.

(6) A avaliação pode ser feita por verificação algorítmica, que calcula todos os comportamentos possíveis, ou por verificação dedutiva, que oferece provas analíticas de algumas afirmações sobre estes comportamentos.

2.8.3.UML (Universal Modeling Language)

Bastos e Ruiz (2002) propõem a utilização de diagramas UML para a descrição dos processo em um fluxo de trabalho (tarefa). Apesar da proposta ser voltada aos processos de negócio em engenharia de software o modelo de transição entre as atividades proposto pelos autores pode ser aplicado em outros domínios. As transições possíveis são descritas na Tabela 3.

2.9. Comparação entre os modelos

Tanto as Redes de Petri quanto os Autômatos Computacionais se mostraram eficientes na captura o comportamento das tarefas, principalmente no que diz respeito aos eventos que podem influenciar o estado de uma tarefa ou de um recurso utilizado por uma tarefa. A UML, em especial o diagrama de atividades, considerando sua notação original, se mostrou insuficiente para descrever satisfatoriamente os pré e pós-estados da tarefa, uso de recursos e interferência de eventos externos a tarefa, como dependência do clima ou exceções como a quebra de um veículo ou máquina agrícola. Um problema na utilização de Redes de Petri ou Autômatos Computacionais na descrição de tarefas genéricas, incluindo-se também as tarefas agrícolas, é a falta de formalismo semântico para descrição dos termos que fazem parte do corpo de conhecimento do domínio.

Tabela 3 - Transições entre atividades no fluxo de processo de trabalho.

Rotas Possíveis	Exemplo de Diagrama (considerando o fluxo natural de execução da esquerda para a direita).
Caminho Único: uma atividade pode ser executada depois de uma atividade prévia.	<pre> graph LR A1[A1] --> A2[A2] </pre>
Divisão E: um caminho de execução único se divide em um ou mais caminhos paralelos no fluxo de trabalho permitindo que as atividades sejam executadas simultaneamente.	<pre> graph LR A1[A1] --> J(()) J --> A2[A2] J --> A3[A3] J --> A4[A4] </pre>
Junção E: um ponto no fluxo de trabalho onde duas ou mais tarefas paralelas convergem para um único caminho de execução. É um ponto de sincronização no fluxo de trabalho.	<pre> graph LR A2[A2] --> J(()) A3[A3] --> J A4[A4] --> J J --> A5[A5] </pre>
Divisão OU: um ponto no fluxo de trabalho onde um único caminho de trabalho faz uma decisão sobre qual fluxo de execução seguir. A decisão é especificada por restrições de transição e.g. C1, C2 e C3).	<pre> graph LR A1[A1] --> D{ } D -- "[C1]" --> A2[A2] D -- "[C2]" --> A3[A3] D -- "[C3]" --> A4[A4] </pre>
Junção OU: um ponto no fluxo de trabalho onde dois ou mais fluxos alternativos reconvergem para uma única atividade comum como o próximo passo do fluxo de trabalho.	<pre> graph LR A2[A2] --> A5[A5] A3[A3] --> A5 A4[A4] --> A5 </pre>
Iteração: um fluxo de atividades cíclicas envolvendo a repetida execução de atividade(s) até que uma condição seja atendida. C1 e C2 são condições de transição.	<pre> graph LR A1[A1] --> A2[A2] A2 -- "[C1]" --> A2 A2 -- "[C2]" --> A3[A3] </pre>

Fonte: (BASTOS; RUIZ, 2002).

A falta de formalismo semântico acarreta na utilização de diferentes termos para referir-se ao mesmo conceito ou termos idênticos para referir-se a conceitos diferentes. Como um dos objetivos principais desta investigação é a descrição do conhecimento para fins do desenvolvimento de sistemas computacionais, é

importante que o modelo que descreve este conhecimento permita a definição inequívoca de seus termos. Uma das maneiras de garantir um formalismo semântico a um modelo computacional é a utilização de ontologias. O próximo capítulo analisa a utilização de ontologias na área computacional, e em específico na área agrícola.

3. ONTOLOGIAS

De acordo com Abrahão e Hirakawa (2017) uma das maneiras de se descrever o corpo de conhecimento de um domínio é uma ontologia. O termo é utilizado em diferentes disciplinas, como na filosofia para descrever a natureza e a estrutura da “realidade”, e na ciência da computação como um tipo especial de objeto de informação ou artefato computacional que é um meio formal de modelar a estrutura de um sistema (GUARINO; WELTY, 2009). A respeito do reuso e compartilhamento de conhecimento, Martins e Falbo (2008) definem dois tipos principais de conhecimento: (1) conhecimento do domínio e (2) conhecimento da tarefa. A ontologia de domínio descreve o vocabulário relativo a um domínio genérico, como por exemplo, medicina. Ontologia de tarefa descreve o conhecimento relativo a uma tarefa genérica, como por exemplo, diagnóstico ou prescrição de tratamento médico. Neste capítulo é apresentado um estudo detalhado da conceituação de ontologia, seus tipos, modelagem conceitual, metodologias para avaliação de ontologias e uma revisão de literatura sobre ontologias para a área agrícola sob o ponto de vista do desenvolvimento de sistemas computacionais baseados na engenharia do conhecimento.

3.1. Definições

De acordo com Gruber (1993), ontologia pode ser dividida em quatro categorias: (1) ontologia de nível superior, (2) ontologia de domínio, (3) ontologia de tarefa e (4) ontologia de aplicação, Figura 18. Ontologias de nível superior definem conceitos básicos, comuns a vários domínios e que são utilizados como base para representação de conhecimento comum e mais genérico no nível de abstração. Ontologia de domínio está relacionada com um assunto específico e fornece um vocabulário conceitual ou relações entre os conceitos desta área. Ontologia de tarefa descreve os conceitos e relacionamentos em uma tarefa ou comportamento comum (LI et al., 2013). Ontologia de aplicação depende das ontologias de domínio e de tarefas, e é, geralmente, uma especialização de ontologias de domínio e tarefa. Segundo Guizzardi (2005), nesta definição a ontologia de aplicação não é considerada como um sinônimo de base de conhecimento, mais sim um tipo particular de base de conhecimento que descreve fatos assumidos por uma

comunidade de usuários para sustentar um acordo sobre o vocabulário comum utilizado. Segundo Falbo, Guizzardi e Duarte (2002) a ideia de ontologia de aplicação é próxima a ideia de especialização de *frameworks* de conhecimento, conceito criado para incorporar conhecimento de aplicação e tarefa que são dependentes de uma determinada funcionalidade que deve ser realizada por um sistema específico ou uma classe mais restrita de sistemas (GUIZZARDI, 2005). Como ontologia é uma ferramenta de modelagem que organiza os conceitos, conhecimento e semântica, pode ser utilizada para organizar entidades, atributos, processos e suas relações de uma forma eficaz. Essas propriedades são particularmente apropriadas para representar componentes compartilhados e reutilizados de sistemas de software.

3.1.1. Metodologias para criação de ontologias

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas visando o desenvolvimento de metodologias para identificar, classificar e representar as informações em sistemas computacionais. Silva, Souza e Almeida (2008) e López (1999) apontam a semelhança entre as metodologias para desenvolvimento de ontologias com as metodologias para desenvolvimento de software da IEEE (IEEE, 1997) e fazem uma comparação entre as diversas metodologias existentes com base na descrição estruturada e metódica do processo de desenvolvimento de um produto, também conhecida como modelo de ciclo de vida. (Tabela 4).

Figura 18 - Hierarquia de especialização de ontologias.

Fonte: adaptado de (LI et al., 2013).

Tabela 4 - Metodologias para construção de ontologias.

Metodologia	Autor(es)	Ano
TOVE	GRUNINGER e FOX	1995
Uschold e King	USCHOLD e KING	1995
Kactus	BERNARAS, LARESGOITI e CORERA	1996
Sensus	SWARTOUT et al.	1996
Methontology	FERNANDEZ, GOMEZ-PEREZ e JURISTO	1997
101	NOY e McGUINNESS	2001
Cyc	REED e LENAT	2002

Fonte: (SILVA; SOUZA; ALMEIDA, 2008).

Com base nas comparações feitas na literatura, os autores chegam ao consenso que não há uma metodologia adequada e que a escolha de uma metodologia deve estar alinhada com as características do domínio e os objetivos a que a ontologia se destina. Independente da metodologia a ser escolhida a literatura aponta uma série de formalismos que podem ser utilizados para representar ontologias conforme revisão que segue.

3.1.2. Formalismos para representação de ontologias

Segundo Cranefield e Purvis (1999) as ferramentas e técnicas utilizadas no desenvolvimento de ontologias são baseadas nas pesquisas tradicionais de

representação de conhecimento da Inteligência Artificial (IA) como o formato *Knowledge Interchange* (KIF) (NCITS, 1998) e linguagens de representação de conhecimento como o KL-ONE (BRACHMAN; SCHMOLZE, 1985). Os mesmos autores propõem um formalismo alternativo para a representação de ontologias baseado em um subconjunto da UML associada a *Object Constraint Language* (OCL) para se beneficiar das seguintes características: (1) grande comunidade de usuários do UML, (2) existência de um padrão gráfico para representação de modelos UML, (3) utilização do poder da OCL para exprimir as limitações que não podem ser expressas pela Descrição Lógica (DL). Guizzardi et al (2004) acreditam, no entanto, que definir construções UML somente em termos de sua semântica matemática, embora essencial, não é suficiente para torná-la uma linguagem adequada de representação de ontologias. A posição defendida pelos autores é a de que para modelar a realidade, uma linguagem de modelagem conceitual deve ser fundamentada em ontologias formais de nível superior, ou seja deve possuir tanto a semântica formal matemática quanto a ontológica. Ontologia de Fundamentação, Ontologia Geral, ou Ontologia de Alto Nível (HERRE et al., 2006), refere-se ao nível mais alto de abstração e se aplicam a categorias de diversas áreas do conhecimento (MARTINS, 2009) (Figura 19).

Figura 19 - Elementos comuns representados por uma ontologia de fundamentação.

Fonte: (MARTINS, 2009).

Estas ontologias, Tabela 5, são sistemas de categorias filosoficamente bem formados e independentes de domínio que tem sido utilizadas com sucesso para melhorar a qualidade de linguagens de modelagem e modelos conceituais (GUIZZARDI, 2005).

Tabela 5 - Exemplos de ontologias de alto nível ou de fundamentação.

Nome	Autor
Cyc	(LENAT; GUHA, 1990)
SUMO	(NILES; PEASE, 2001)
GFO	(HERRE et al., 2006)
DOLCE	(BOTTAZZI; FERRARIO, 2009)
UFO	(GUIZZARDI, 2005)

Fonte: autor.

Guizzardi (2005), propõe a *Unified Foundation Ontology* (UFO), uma linguagem de modelagem para ontologias baseada nas semânticas formais matemática e ontológica com uma base ontológica em nível superior que considera as necessidades fundamentais de estruturas ontológicas como a teoria das partes, teoria dos todos, tipos e instanciação, identidade, dependência e unidade. Em outro trabalho Benevides e Guizzardi (2009) propõem uma ferramenta na forma de um editor para a UFO que mais tarde foi chamada de OntoUML, Figura 20. O editor permite a modelagem de ontologias considerando os requisitos da expressividade, clareza e veracidade necessários a descrição do modelo ontológico.

Figura 20 - Exemplo de um diagrama de classe representando uma hierarquia de conceitos utilizando a linguagem OntoUML.

Fonte: (GUIZZARDI, 2005).

Neste trabalho, selecionou-se a UFO como ontologia de fundamentação superior devido ao seu formalismo matemático e ontológico e a E-OntoUML (MARTINS, 2009), uma extensão da OntoUML, como linguagem de modelagem conceitual para descrever modelo de ontologia de tarefa proposto. A UFO, seus subconjuntos e a E-OntoUML serão descritos nas próximas sessões.

3.1.3.UFO (Unified Foundation Ontology)

A UFO é uma unificação das ontologias GFO e DOLCE, aproveitando-se as características positivas e suprimindo-se as limitações na habilidade de capturar os conceitos básicos de linguagens de modelagem conceitual (GUIZZARDI; WAGNER, 2005). A UFO pode ser utilizada para: (1) avaliar, projetar e integrar os modelos de linguagens de modelagem conceitual, (2) prover semântica de mundo real para seus elementos de modelo e (3) prover semântica aos modelos que capturam o conhecimento dinâmico de uma tarefa agregando conceitos relativos a eventos, objetos, agentes e recursos (GUIZZARDI; WAGNER, 2005). A UFO (Figura 21) foi proposta por (GUIZZARDI et al., 2004) e está dividida em três partes: (1) UFO-A, Figura 22, uma ontologia de indivíduos duradouros (endurants) sendo a parte

principal da UFO, (2) UFO-B, Figura 23, uma ontologia de eventos (perdurants) e (3) UFO-C Figura 24, uma ontologia de entidades sociais.

Figura 21 - Unified Foundation Ontology (UFO) e suas três divisões.

Fonte: (GUIZZARDI, 2005).

3.1.4. Ontologias de domínio

Ontologias de domínio definem o vocabulário comum para compartilhar o conhecimento sobre um determinado domínio. Segundo Noy e McGuinness (2000), ela descreve conceitos, propriedades e restrições de um domínio de discurso e tem por objetivo: (1) compartilhar informação, (2) reusar elementos do domínio, (3) tornar suposições do domínio explícitas, (4) separar conhecimentos de domínio de conhecimento operacional e (5) analisar o conhecimento do domínio. Uma grande quantidade de ontologias de domínio tem sido desenvolvida nas mais diversas áreas, inclusive na agricultura, conforme descrito na seção 3.1.5.

Existem várias metodologias para construção de ontologias de domínio, como as citadas na seção 3.1.1, e algumas que utilizam UML como modelo estrutural para

sua representação (CRANEFIELD; PURVIS, 1999), (KOGUT et al., 2002), (FALBO, 2004). Guizzard, (2005) propos um perfil UML ontologicamente correto chamado OntoUML, baseado na UML 2.0 e isomórfico a UFO-A, que já foi utilizado para a modelagem conceitual de várias ontologias de domínio. (Tabela 6).

Figura 22 - UFO-A: define entidades, indivíduos, propriedades e relacionamentos.

Fonte: (MARTINS, 2009).

Figura 23 - UFO-B, estende as definições de UFO-A para definir eventos, situações, pré e pós condições e intervalos temporais.

Fonte: (MARTINS, 2009).

Tabela 6 - Modelos de ontologias de domínio desenvolvidas com OntoUML, nomes originais em inglês e descrição (lista parcial).

Modelo OntoUML	Descrição
Banking Operations Model	Operações bancárias
Bank Model	Bancos e contas
Chartered Services Model	Micro-domínio da oferta de serviços de frete ferroviário
Clergy Model	Papéis no clero católico
Cloud Vulnerability Ontology	Perspectiva IaaS sobre a vulnerabilidade da nuvem pública
Conceptual Schema of Human Genome	Uma análise ontológica de um modelo conceitual para o genoma humano
Configuration Management Task Ontology (CMTO)	Gerenciamento de configuração de produtos de software
Construction Model	Construção
ECG Ontology	Eletrcardiograma
Experiment Model	Experimentos científicos
FIFA Model	Futebol, com base nas regras oficiais da Fifa
FIRA Robot Soccer Ontology	Uma análise ontológica da ontologia do Futebol de Robos
Refactored	(http://www.fira.net/)
Gi2MO Refactored	Uma análise ontológica da Ontologia Genérica de Ideias e Gestão da Inovação (Gi2MO) (http://www.gi2mo.org/)
GRU MPS.BR	Processo de gerenciamento de reuso da MPS.BR
G.805 Ontology	Redes de transporte óptico, com base na recomendação ITU-T G.805
G.809 Model	Modelo com base na recomendação ITU-T G.809
Health Organization Model	A visão de mundo de um possível sistema de informação para o domínio da saúde pública brasileira
IDAF Model	Instituto de Proteção Agrícola do Espírito Santo
IT Infrastructure Model	Infraestrutura de TI
Internship Model	Estágio brasileiro, conforme regulamentado pelas leis federais
Internal Affairs Model	Assuntos internos da polícia brasileira
Normative Acts Ontology	Estrutura e relações entre atos normativos de acordo com a legislação brasileira
Online Mentoring Model	Uma visão de texto para um sistema para gerenciar processos de orientação on-line
OntoBio	Biodiversidade amazônica
OntoUML Org Ontology (O3)	A estrutura ativa de uma organização
OntoEmerge	Uma ontologia básica para o domínio de emergência
OpenFlow Ontology	O OpenFlow, um protocolo de comunicação
Open proVenance Ontology (OVO)	Uma ontologia de referência para a proveniência de experimentos científicos
Parking Lot Model	Uma visualização de palavras para um sistema de gerenciamento de estacionamento
PAS-77:2006 Ontology	Arquitetura de TI a partir da perspectiva de continuidade do serviço, com base no padrão PAS-77: 2006
Photography Collection Model	Coleções de fotografia
Project Management Model	Gerenciamento de Projetos
PROV Ontology Refactored	Análise ontológica da ontologia PROV (http://www.w3.org/TR/prov-o/), um padrão W3C
Public Tenders Model	Processo brasileiro para concursos públicos
Social Contracts Model	Teoria do contrato social brasileiro
Software Requirements Reference Ontology (SRRO)	Requisitos para produtos de software
Stock Broker Model	Corretora de Valores
TM	Modelo do Fórum
UFO-S	Uma ontologia de referência baseada em compromisso de serviços
University Model	Universidades federais brasileiras
WSMO Refactored	Uma análise ontológica da Ontologia de Modelagem de Serviços Web (http://www.wsmo.org/)

Fonte: (MENTHOR, 2017).

3.1.5. Ontologias de domínio para a agricultura

Na área da agricultura existem várias ontologias desenvolvidas tanto para o contexto geral do domínio quanto para áreas específicas como hortaliças e irrigação. Abaixo segue lista em ordem cronológica:

- A FAO (Food and Agriculture Organization), órgão das Nações Unidas, iniciou em 2001 um estudo para o desenvolvimento de um serviço para representar o conhecimento na área agrícola baseado em ontologia chamado AOS (Agriculture Ontology Service) (WILDEMANN; SALOKHE; KEIZER, 2004).
- A *PLANTS ontology* (GOUMOPOULOS et al., 2004) é baseada em sociedades conceitualizadas esta ontologia considera a planta como uma entidade digital (ePlant) e a descreve baseada em seus ingredientes. PLANTS esta dividida em duas partes: PLANTS-CO, que define o vocabulário que permite a interoperabilidade e PLANTS-HO que descreve o conhecimento sobre as entidades específicas.
- Crop-pest Ontology (BECK; KIM; HAGAN, 2005) é uma ontologia que inclui conceitos e relacionamentos entre as culturas e as pestes associadas (insetos, doenças, ervas daninhas, nematoides e mamíferos) e gerenciamento de pestes (controle integrado, controle químico e biológico).
- Irrigation Ontology (CORNEJO et al., 2005) é uma ontologia desenvolvida por pesquisadores da Universidade da Florida com 250 conceitos e 300 relacionamentos na área de irrigação. Tem por finalidade auxiliar no ensino dos conceitos de irrigação de culturas agrícolas.
- AgriOnto: é uma ontologia específica para a agricultura e possui um método para aquisição e representação de conhecimento agrícola através de um serviço inteligente que foi desenvolvida por (XIE; WANG; YANG, 2008).
- OntoCrop, proposta por Malliappis (2009) é uma ontologia desenvolvida para a área de horticultura utilizada para identificar pestes e doenças relacionadas a hortas e o cultivo em casas de vegetação.
- Martini; Schmitz, e Kunish (2011), pesquisadores da KTBL (Associação para Tecnologia e Estruturas na Agricultura) da Alemanha desenvolveram o AgroRDF, uma camada semântica baseada em ontologia para representar o

conhecimento na área agrícola descrito pelo padrão de representação de dados AgroXML.

- ONTAgri, (AQEEL-UR-REHMAN; ZUBAIR AHMED SHAIKH, 2011) é uma ontologia para a agricultura e é dividida em (1) *System Ontology*, que define componentes de software e hardware como sensores lógicos e físicos, atuadores e interfaces de aquisição de dados e (2) *Domain Ontology*: que define os conceitos principais como campo, cultura e os serviços como plantio, irrigação, colheita, etc.
- Um framework para um sistema de gerenciamento de conhecimento baseado em ontologia levando em consideração a aquisição, representação, organização, mineração e gerenciamento do conhecimento agrícola foi proposto por Zheng et al (2012).
- Um método semiautomático para aquisição de conhecimento na área agrícola a partir de sítios na web baseado em um modelo ontológico foi proposto por Wei et al (2012).
- Uma implementação de ontologia utilizando RDF para representar o conhecimento agrícola para a cultura do tomate foi proposta por (SONG et al., 2012).
- LODE (Ambiente de Desenvolvimento para Ontologias em Larga-Escala), (MENG et al., 2012), é uma IDE (ambiente integrado de desenvolvimento) para gerenciamento de conhecimento para a área agrícola baseado em ontologia.
- Kawtrakul (KAWTRAKUL, 2012), sugeriu a utilização de uma ferramenta de aquisição de conhecimento da web, especialistas e outras fontes baseada em ontologia chamada Cyber-Brain para o desenvolvimento de uma extensão do AOS Vocbench.
- Terhorste e Morshed (TERHORST; MORSHED, 2013), criaram uma base de conhecimentos para doenças de plantas baseado em ontologia (AKB) que foi implementada em RDF/OWL e disponibilizada para os produtores de alcaloides de ópio na Tasmânia no formato SKOS (Simple Knowledge Organization System) (W3C, 2009).
- Na Nigéria, devido a sérios problemas com a segurança alimentar Malek; Mustapha e Ukpe (MALEK; MUSTAPHA; UKPE, 2013), desenvolveram uma

ontologia chamada NAO (*Nigeria Agricultural Ontology*) que visa auxiliar os produtores agrícolas na rastreabilidade e interoperabilidade de dados sobre segurança alimentar de produtos agrícolas.

- *Crop Cultivation Standards Ontology (CSS Ontology)* (LI et al., 2013), é método desenvolvido para representar as melhores práticas para o cultivo de culturas agrícolas combinando ontologias de domínio e de tarefa.
- MAKOCI (*Multi-Agent Knowledge Oriented CyberInfrastructure*), (LI et al., 2014), é uma ferramenta que utiliza ontologia para gerar um modelo para um sistema de suporte a decisão espacial para ações na agricultura.
- Uma ontologia para a agricultura proposta por Dineshkumar et al (2014) divide o domínio em quatro subdomínios: culturas, doenças e pragas, solo e clima, para em seguida unifica-los.
- Outra ontologia genérica para agricultura baseada no vocabulário do AGROVOC (FAO, 2013), foi proposta por Malik, Sharan e Hijam (2015).
- AAO (*Agriculture Activity Ontology*) (TAKEDA et al., 2016) é a base de um vocabulário para atividades da agricultura que provê semântica para as atividades agrícolas. Também é uma descrição lógica formal para classificação clara das atividades agrícolas.
- O projeto AgroPortal (JONQUET et al., 2016) visa reutilizar os resultados científicos e a experiência do domínio biomédico no contexto das ciências das plantas, agronômicas, alimentares e da biodiversidade. AgroPortal é um portal de ontologia que possui hospedagem, pesquisa, controle de versão, visualização, comentário, recomendação, que permite a anotação semântica, além de armazenar e explorar alinhamentos de ontologia. O AgroPortal utiliza uma estrutura semântica compatível com a web e respeita os requisitos da comunidade agronômica em termos de formatos de ontologia ou recursos suportados.
- O CGIAR (*Consultative Group for International Agricultural Research*) (CGIAR, 2017), propôs o desenvolvimento de uma plataforma para “*big data*” para a agricultura. Uma das iniciativas é a utilização da *Crop Ontology* (CROP AND AGRONOMY ONTOLOGY COMMUNITY, 2017), uma ontologia de domínio para a agricultura.

Apesar da grande quantidade de ontologias de domínio para a agricultura, não há um consenso quanto a um padrão comum. Projetos como o patrocinado pelo CGIAR e iniciativas como o AgroPortal e o AGROVOC são caminhos promissores para o compartilhamento de vocabulários, reuso de ontologias e disseminação do conhecimento da agricultura, inclusive utilizando conceito de dados abertos:

"Os dados e conteúdos abertos podem ser usados, modificados e compartilhados por qualquer pessoa para qualquer propósito" (OPEN DEFINITION, 2015)

A reutilização de ontologias de domínio é de grande importância e deve ser encorajada pois permite economia de tempo e custos de desenvolvimento. Como a presente pesquisa mantém foco no modelo para ontologia de tarefa para as operações agrícolas da cana-de-açúcar não será considerada uma ontologia de domínio específica para a agricultura, mais sim, uma ontologia de tarefa matematicamente fundamentada que permita o reuso de ontologias de domínio agrícola existentes e que também possam ser reutilizadas em outros domínios.

3.1.6. Ontologias de Tarefa

O objetivo principal de um modelo para descrever uma tarefa é representar o conhecimento de quais são as tarefas, onde e quando as tarefas podem ocorrer, quem são os responsáveis por elas, seus atributos e relacionamentos (ABRAHÃO; HIRAKAWA, 2017) (Figura 25).

Figura 25 – Ontologias de tarefa no contexto das operações agrícolas.

Fonte: (ABRAHÃO; HIRAKAWA, 2017)

Segundo Martins (2009), diferentemente do desenvolvimento de ontologias de domínio, existe uma carência de métodos amplamente aceitos para captura dos elementos de uma ontologia de tarefa, existem poucos trabalhos que tratam de ontologias de tarefa e não existe uniformidade para representá-las. Uma tarefa, geralmente, ocorre em uma localização, com um propósito definido, executado por um indivíduo, em um intervalo de tempo, aplicada a um objeto e consumindo alguns recursos como entradas e/ou gerando algum tipo de saída (ABRAHÃO; HIRAKAWA, 2017). As tarefas podem ser compostas por subtarefas e têm relações que determinam o sincronismo de execução e relacionamentos temporais, conforme descrito na seção 2.7. Martins (2009), propôs a criação de um perfil para a OntoUML, denominado E-OntoUML, cuja finalidade é descrever modelos de tarefas ontologicamente bem formados, baseados na ontologia de fundamentação UFO. A E-OntoUML utiliza diagramas de classe e de atividade para representar os elementos da execução de tarefas que não são totalmente representados pela UFO-B. Diagramas da UML já foram utilizados anteriormente para descrever ontologias de tarefa por Abrahão e Hirakawa (2017) , Bastos e Ruiz (2002) e Martins e Falbo

(2008). A próxima etapa deste capítulo é a seleção de uma metodologia para avaliação da qualidade do modelo ontológico proposto.

3.1.7. Qualidade e avaliação de ontologias

Um fator essencial que faz com que uma determinada disciplina ou abordagem seja científica é a capacidade de se avaliar e comparar as ideias dentro desta área de estudo. Ontologias são estruturas de dados fundamentais para representar o conhecimento, mas normalmente são construídas muitas ontologias diferentes para conceituar o mesmo corpo de conhecimento e deve-se ser capaz de determinar qual delas melhor se adapta a algum critério pré-definido (BRANK; GROBELNIK; MLADENIĆ, 2005). Técnicas para avaliar ontologias são importantes tanto quando se constrói ontologias do zero quanto se deseja selecionar uma ontologia para ser reutilizada entre as várias disponíveis para um determinado domínio (TARTIR; ARPINAR; SHETH, 2003). Reutilização de ontologias é recomendada por padrão em metodologias e diretrizes atuais e é um fator-chave para desenvolver ontologias úteis e de alta qualidade. Reutilizar ontologias reduz os custos de engenharia, uma vez que evita a reconstrução de ontologias existentes. Este processo é, no entanto, relacionado com custos e esforços significativos, que podem em alguns casos superar os seus benefícios. Em primeiro lugar, como em outras disciplinas de engenharia, reutilizar algum componente existente implica em custos para encontrar, se familiarizar com, adequar e atualizar os módulos necessários em um novo contexto. Em segundo lugar, a construção de uma nova ontologia significa uma tradução parcial entre diferentes regimes de representação, fazer a correspondência entre esquemas ou ambos (BONTAS; MOCHOL; TOLKSDORF, 2005). A seguir, uma explanação sobre as principais metodologias para avaliação de ontologias:

- OntoClean (GUARINO; WELTY, 2009) é uma metodologia criada para validar a adequação ontológica de relações taxonômicas. É baseada em noções ontológicas fundamentais originadas da filosofia, como essência, identidade e unidade, que são utilizadas para caracterizar os aspectos relevantes do significado pretendido das propriedades, classes e relações que compõem uma ontologia.

- OntoMetric (LOZANO-TELLO; GÓMEZ-PÉREZ, 2004) é uma metodologia para avaliação baseada em métricas dos cinco principais aspectos de uma ontologia que são denominados dimensões: conteúdo, linguagem, metodologia, ferramentas e custos.
- OntoQA (TARTIR et al., 2005) é uma metodologia que categoriza a análise da qualidade de ontologias em três grupos: esquema, base de conhecimento (KB) e métricas de classe. Estas métricas servem como um meio de avaliar a qualidade de uma única ontologia ou para comparar ontologias quando mais do que uma candidata se encaixa em certos requisitos. OntoQA permite que tanto o desenvolvedor quanto o usuário possam avaliar a qualidade da ontologia e considera tanto a qualidade do esquema quanto a qualidade das instâncias da ontologia no mundo real e sua consistência com o modelo ontológico.
- OQuaRE (DUQUE-RAMOS et al., 2011) é uma metodologia para avaliação da qualidade de ontologia baseada em uma metodologia de avaliação de qualidade de software. A norma ISO/IEC 25000:2005 é o padrão para produtos de software, requisitos de qualidade e avaliação também conhecida com SQuaRE e define um processo completo de avaliação de um produto de software. É a combinação das normas ISO 9126 e ISO 14598 (ISO/IEC 14598, 1999).
- Beydoun (2011) propõe uma metodologia para medição e melhoria da qualidade de ontologias hierárquicas baseada na taxonomia dos conceitos e focada na boa formação dos atributos dos conceitos e seus relacionamentos.
- OntoQualitas (RICO et al., 2014) é uma metodologia desenvolvida para avaliar ontologias cujo propósito é a interoperabilidade técnica, semântica e organizacional entre diferentes contextos. Segundo os autores a qualidade não é uma propriedade de algo, mais sim um julgamento e, portanto, deve ser relação a algum propósito. OntoQualitas é baseada na metodologia ROMEO (YU; THOM; TAM, 2009) que permite avaliar uma ontologia baseando-se no propósito para o qual esta ontologia foi designada.

Analisando-se as metodologias de avaliação de ontologias descritas nota-se que todas consideram formalismos matemáticos e ontológicos para avaliar os elementos

das ontologias quanto a semântica e fidelidade na descrição dos conceitos, suas propriedades e relacionamentos. Entretanto são mais adequadas à avaliação de ontologias de domínio e não a modelos conceituais. Como a ontologia de tarefa proposta nesse trabalho é representada através de um modelo conceitual expresso em E-OntoUML, optou-se por utilizar o método de avaliação proposto por (GUIZZARDI, 2005) e explicada a seguir.

3.1.8. Método para avaliação de modelos conceituais

Modelos de processo de negócios são frequentemente utilizados para o desenvolvimento de sistemas computacionais para controle operacional, sistemas de suporte a decisão e gestão estratégica. Neste contexto, a qualidade dos modelos é essencial, pois modelos de processo ambíguos e mal formados podem levar a sérios problemas de entendimento, comprometendo seu uso (MARTINS et al., 2011). Logo, um modelo conceitual de qualidade deve utilizar uma linguagem de modelagem clara e expressiva. Segundo Guizzard (2005), algumas propriedades devem ser reforçadas quando é feito o mapeamento de uma ontologia de fundamentação para a especificação do meta-modelo da linguagem de modelagem, tais como: (1) solidez, se cada entidade na especificação representa pelo menos uma entidade no modelo de ontologia, (2) completude, se cada entidade em um modelo é representada por pelo menos uma (embora talvez muitas) entidade na especificação primitiva, (3) lucidez, quando cada primitiva de linguagem representa no máximo uma (embora talvez nenhuma) entidade no modelo de ontologia e (4) laconicidade, quando todos os conceitos presentes na ontologia são representados por pelo menos uma primitiva da linguagem. Nesta investigação, este método foi eleito para avaliação do modelo conceitual proposto.

4.MODELO PARA ONTOLOGIA DE OPERAÇÕES AGRÍCOLAS

Neste capítulo, discute-se o modelo conceitual para representação da ontologia de tarefa para operações agrícolas da cana-de-açúcar, sua aderência ao formalismo ontológico da E-OntoUML além de propor uma extensão da notação para representação de eventos externos a tarefa. Por fim é feita uma análise de aderência ao formalismo ontológico da ontologia de fundamentação utilizada.

4.1.E-OntoUML

De acordo com Martins (2009) e Martins e Falbo (2008), existem dois principais tipos de conhecimento que deve ser capturado por uma ontologia de tarefas (Figura 26):

Figura 26 – Tipos de visões representadas pela E-OntoUML.

Fonte: (MARTINS, 2009; MARTINS; FALBO, 2008)

(1) decomposição de tarefas e controle-fluxo ou **visão comportamental do conhecimento da tarefa**: A execução de uma tarefa pode ser considerada como um processo para a solução de um problema e, portanto, pode ser definida como uma sequência de atividades que alteram o estado de objetos e são executados por um agente. Para isso, é necessário um modelo capaz de representar atividades (subtarefas), agentes e objetos (entradas e/ou saídas).

(2) funções de conhecimento desempenhadas por objetos do domínio na execução da tarefa ou **visão estrutural do conhecimento da tarefa**: representam papéis que entidades do domínio desempenham quando a tarefa é executada (GUARINO, 1998) e tem como função: (a) ligar o conhecimento do domínio ao controle de fluxo da tarefa e (b) fazer a interface entre o conhecimento do domínio e o raciocínio do problema (MARTINS, 2009). Enquanto o modelo de representação utilizado pela OntoUML é capaz de descrever com formalidade ontológica a visão estrutural do conhecimento da tarefa, lhe faltam elementos para descrever a visão comportamental, como por exemplo, a descrição da ordem de precedência de atividades (subtarefas). Por este motivo Martins (2009) propôs a E-OntoUML, que estende o perfil da OntoUML adicionando elementos a notação UML capazes de satisfazer a modelagem comportamental das tarefas sem comprometer o formalismo ontológico. Para exemplificar a utilização da E-OntoUML, modelou-se a operação agrícola de controle de pragas utilizando aspersão de defensivos agrícolas. O diagrama de atividades representa a tarefa como um nó de atividade. As arestas de atividade representam o fluxo da operação. Os agentes que executam a tarefa são representados pela partição de atividade ao redor das atividades executadas por aqueles agentes. Os objetos utilizados também são representados por nós de atividade e sua participação na tarefa pode ser de quatro tipos: (1) criação (*creation*), (2) término (*termination*), (3) alteração (*change*) e (4) uso (*usage*). Os tipos de participação são representados no modelo por estereótipos nas arestas de atividade entre sinais de maior e menor duplos: << >>. Para representar o tipo do objeto utiliza-se a notação **nomeDaInstância: NomeDaClasse** no interior do nó de atividade e opcionalmente o estado em que um objeto se encontra pode ser representado pelo nome do estado entre colchetes: **[estado]**. Nos modelos desta pesquisa, mantém-se o padrão de vocabulário na língua inglesa em conformidade com a ontologia de fundamentação em que se baseia a E-OntoUML. Os termos em inglês serão apresentados em parênteses e itálico, precedidos pelo termo original em português em negrito. Desta maneira, interpreta-se o modelo apresentado na Figura 27 como uma atividade **Aplicação de Defensivos Agrícolas** (*Pesticide Control*), que utiliza uma instância de **Campo de Cultura** (*Crop Field*) que se encontra inicialmente em estado **não controlado** (*uncontrolled*), e após a execução da tarefa passa para o estado **controlado** (*controlled*). A aresta de atividade que se

origina do estado inicial do recurso **Campo de Cultura** (*Crop Field*) aponta para a tarefa, indicando que este é um recurso de entrada, necessário para a execução da tarefa com participação do tipo **uso** (*usage*). A mesma instância de **Campo de Cultura** (*Crop Field*) é exibida no modelo com a aresta de atividade saindo da tarefa em direção ao objeto, indicando uma participação do tipo **alteração** (*change*), o que implica na alteração do estado da instância de **Campo de Cultura** (*Crop Field*) para o estado **controlado** (*controlled*). Uma instância do equipamento agrícola **Trator Aspersor Leve** (*Lightweight Spraying Tractor*) é utilizada como recurso para a tarefa. Desta instância se origina uma aresta de atividade com a seta em direção a tarefa indicando a participação do tipo **uso** (*usage*). O agente que executa a tarefa é uma instância de **Operador de Trator Leve** (*Lightweight Tractor Operator*) e é indicado na legenda da linha de partição de atividade que ele executa. O nó de atividade da tarefa apresenta um símbolo no lado inferior direito em formato de uma árvore invertida que indica que esta tarefa pode ser decomposta em sub-tarefas e que esta é uma representação em alto nível da mesma.

4.2. Representação de eventos externos a tarefa

Analisando-se o modelo proposto na E-OntoUML em comparação aos modelos que utilizam outros métodos de modelagem como Redes de Petri (seção 2.8.1) e Autômatos Computacionais (seção 2.8.2), nota-se a falta de uma notação para representação de eventos externos a tarefa que podem influenciar o estado da tarefa e, possivelmente, restringindo sua execução. Essas restrições são desencadeadas por eventos, como condições climáticas e condições do solo ou por exceções, como falha na máquina e interrupção no fornecimento de energia elétrica. A execução da tarefa pode ser adiada ou cancelada de acordo com a gravidade e natureza do evento que afeta o estado da tarefa.

Figura 27 - Exemplo de um diagrama E-OntoUML para a operação agrícola da aplicação de defensivos.

Fonte: autor.

Um modelo conceitual para operações agrícolas deve ser capaz de capturar esse comportamento para desencadear e gerenciar esforços de mitigação como: (1) iniciar uma nova tarefa, (2) reprogramar ou (3) reatribuir a tarefa atual. É importante notar que na E-OntoUML “**eventos**” dizem respeito a indivíduos que são compostos de partes temporais e a proposta de Martins et al (2011) é a utilização de diagramas OntoUML para representar a visão comportamental deste tipo de “**eventos**”, também conhecidos como tarefas. Em contrapartida, os eventos externos que interferem na execução da tarefa, também denominados “distúrbios” (PANEK; ENGELL; STURBERG, 2006), não são modelados pela E-OntoUML. Na exploração deste ponto, propõe-se uma extensão para a E-OntoUML para modelar este tipo de evento chamado de Evento de Disparo ou *Trigger Event (TE)*. Os *TEs* são divididos em 2 tipos: (1) **Evento de Exceção** ou *Exception Event (EE)*: eventos que podem causar uma interrupção operacional que atrasará ou interromperá a realização da objetivo da tarefa (por exemplo, falha no equipamento, acidente de trânsito) e (2) **Evento**

Ordinário ou *Ordinary Event* (OE): eventos esperados, mas cujo tempo exato e local de ocorrência são conhecidos somente com certo grau de incerteza. O OE é especializado em (a) **Evento Ordinário Planejado** ou *Planned Ordinary Event* (POE): são eventos planejados e esperados, não estão diretamente relacionados à tarefa, mas afetam o estado dos recursos que participam da tarefa (por exemplo, manutenção da máquina, reabastecimento, alteração no planejamento, alteração no local de trabalho) e (b) **Evento Ordinário Não Planejado** ou *Unplanned Ordinary Event* (UOE): eventos esperados, mas que ocorrem em intervalos de tempo não planejados e irregulares (por exemplo, chuva, mudança nas condições do solo, alteração nas condições operacionais). (Figura 28).

Figura 28 - Eventos externos que afetam o estado da tarefa: Trigger Event (TE)

Fonte: autor.

É fundamental para a expressividade de uma ontologia de tarefa de operações agrícolas, que todos os conceitos das tarefas agrícolas sejam formalmente representados pelo modelo. Os eventos externos que afetam o estado da tarefa, também conhecidos no setor sucroalcooleiro como “motivos de parada”, interferem diretamente no estado das tarefas e de seus recursos, um modelo que não

represente estes eventos não é suficientemente expressivo para as operações agrícolas da cana-de-açúcar. Por conseguinte, é necessário propor a adição de uma notação para modelar este tipo de eventos na E-OntoUML. Os TEs são representados por nós de atividade, analogamente a notação utilizada pela E-OntoUML. O que diferencia o nó de atividade da representação de objeto na E-OntoUML do nó de atividade de um TE na extensão proposta por este trabalho é: (1) o estereótipo na legenda da aresta de atividade: <<triggers>> e (2) o estereótipo no interior do nó da atividade representando o tipo de TE (EE, POE ou UOE) de uso opcional. A seta da aresta de atividade vai apontar na direção do objeto cujo estado vai ser alterado pelo disparo daquele evento. Na Figura 29 a notação de TEs foi acrescentada ao modelo do exemplo anterior sendo representados três TEs para a operação de aplicação de defensivos: (1) **Evento de Clima** (*Weather Event*) que é um UOE e é disparado sobre o recurso **Campo da Cultura** e sobre a própria tarefa, (2) **Evento da Troca de Turno** (*Turn Change Event*) que é um POE e é disparado sobre o recurso **Trator Leve de Aspersão** e (3) **Evento de Falha de Equipamento** (*Machine Failure Event*) que é um EE e que também é disparado sobre o recurso **Trator Leve de Aspersão**.

Uma vez definido a linguagem para modelagem da ontologia de tarefa é necessário verificar seu formalismo ontológico conforme segue.

4.3. Análise do formalismo ontológico do modelo proposto

A proposta da E-OntoUML é diminuir as ambiguidades na modelagem de processos de negócio (tarefas) adicionando semântica a alguns elementos de modelo de diagramas de atividade da UML, de modo capturar distinções importantes e tornar a linguagem mais expressiva e clara (MARTINS et al., 2011). Para representar os processos de negócio, a UML provê elementos de modelo para representar ações, objetos, estados de objetos, fluxos de ações/objetos, condições, eventos, início/fim de fluxo, exceções e agrupamento de ações. Segundo Guizzard (2007) um dos principais fatores de sucesso no uso de uma linguagem de modelagem reside na habilidade da linguagem prover aos usuários primitivas de modelagem que sejam capazes de expressar diretamente conceitos relevantes de um domínio, ou seja, de expressar a conceituação desse domínio. Segundo Martins (2009) e Martins et al

(2011) o propósito da E-OntoUML não é ser uma linguagem de modelagem de processos ideal e, portanto, não se busca o isomorfismo em relação a uma ontologia de fundamentação. Busca-se apenas adicionar algumas distinções ontológicas consideradas importantes para a modelagem de processos de negócio, criando um perfil UML que utiliza mecanismos de extensão da UML para adicionar parcialmente a semântica de uma ontologia de fundamentação a elementos de modelo de diagramas de atividades da UML.

A E-OntoUML é, portanto, um perfil UML, semanticamente fundamentado na UFO (sessão 3.1.3) que trata dos seguintes aspectos da modelagem de processos: (1) **ações**: esta parte do perfil concentra-se em distinções relacionadas a diferentes tipos de atividades, (2) **objetos**: esta parte do perfil trata de tipos de objetos, estados dos objetos, entradas, saídas e tipos de participações de objetos em atividades, (3) **agentes**: esta parte do perfil aborda tipos de agentes e os tipos de participações de agentes em atividades e (4) **fluxo de controle**: esta parte do perfil explora aspectos relacionados à ordenação e à sincronização de atividades (MARTINS, 2009; MARTINS et al., 2011). Adicionalmente aos aspectos originais da E-OntoUML soma-se o quinto elemento: (5) **eventos externos a tarefa**: parte do perfil que explora a ocorrência de eventos externos a tarefa que influenciam o estado da tarefa ou dos objetos que participam da tarefa alterando seus estados. Nas próximas seções, a análise do formalismo de cada aspecto, com exceção dos eventos externos a tarefa, analisados na seção 4.2.

4.3.1. Representação de Ações

Ações (*Actions*) são representadas na E-OntoUML pelos seguintes elementos: (1) **Ações de Agente** (*AgentActions*), que por sua vez podem ser: (a) **Ações de Agente Atômica** (*AtomicAgentAction*) ou (b) **Ação de Agente Complexa** (*ComplexAgentAction*). Ações de Agente Atômicas são executadas por somente um indivíduo enquanto as Ações de Agente Complexas são executadas por mais de um indivíduo. As Ações de Agente Complexa podem ser do tipos: I) **Interação** (*Interaction*) que pressupõe a participação de dois ou mais agentes e II) **Ação de Agente com Objeto** (*ObjectAgentAction*) que representa a participação de agente e objeto. (Figura 30).

Figura 29 - Extensão da E-OntoUML para descrever eventos externos a tarefa.

Fonte: autor.

4.3.2. Representação de Objetos

Objetos são representados na UFO por **objetos** (*objects*), tipos de **substanciais** (*substantials*) que não são **agentes** (*agents*). Objetos são utilizados por tarefas e tem seus estados modificados (GUIZZARDI, 2006). Para especificar o conceito de **situação** (*situation*) da UFO, ou seja o estado de um objeto em um determinado momento da tarefa, a E-OntoUML utiliza o conceito de **elemento nó de situação** (**ObjectSituationNode**) (MARTINS, 2009).

Figura 31 - Exemplo de uma condição representada em E-OntoUML.

Fonte: autor.

O autor ainda enfatiza que a hierarquia de objetos não é completa e, portanto, outras classificações podem ser adicionadas. (Figura 32).

Objetos na E-OntoUML estendem a notação de objetos na OntoUML e, portanto, são aderentes ao formalismo da UFO-A para representação de objetos. Em

contrapartida, o tipo de participação do objeto na ação é definido pela direção da seta da aresta de atividade. As setas que se originam no objeto com destino a uma ação indicam o uso ou a destruição do objeto enquanto as setas que se originam na ação em direção ao objeto indicam a criação ou alteração desse objeto. (Figura 33).

Figura 32 - Elementos do modelo para representar objetos na E-OntoUML.

Fonte: (MARTINS, 2009).

Os quatro tipos possíveis de participação de objeto na ação (criação, destruição, alteração e uso) seguem o formalismo da UFO-B e são aderentes a representação das operações agrícolas canavieiras.

4.3.3. Representação de Agentes

Agentes são representados na E-OntoUML pela notação UFO **Agentes** (*Agents*) e são especialização de substantiais capazes de possuir modos intencionais, ou seja, tem um propósito, e podem realizar ações. Na UML agentes são representados por partições de atividade: agrupamento genérico de nós e arestas usado para identificar ações que têm alguma característica em comum (OMG, 2006). O agente é representado por um nome de instância e sua respectiva classe, utilizando opcionalmente o estereótipo de agente: **<<agent>>** **operador:**

OperadorTratorLeve. (Figura 34). A notação para representação de agentes esta fundamentada na UFO-A, sendo adequada para identificar os agentes no modelo de descrição de tarefas proposto.

Figura 33 - Representação das participações de um objeto.

Fonte: (MARTINS, 2009).

Figura 34- Representação de partições de agente na UML.

Fonte: (MARTINS, 2009).

4.3.4. Representação de fluxos de controle

Na E-OntoUML fluxos de controle (*ControlFlows*) são representados pela notação UML de **arestas de atividade** (*edges*). Um fluxo de controle indica o início de uma atividade após o término da anterior. O fluxo de controle define a ordem de execução, mais não trata da relação temporal. Para representar a relação temporal a E-OntoUML estende a notação da UFO-B, baseada nas relações temporais de Allen (seção 2.8). O sincronismo de tarefas é representado por nós de controle (*ControlNodes*) com a notação UML. (Figura 35) e (Figura 36). Tanto as relações temporais quanto o sincronismo de tarefa satisfizeram as tarefas das operações agrícolas tanto nas relações de fluxo de trabalho de (BASTOS; RUIZ, 2002) quanto nas relações de processos de Yamada, Porto e Inamasu (2002), também aplicadas por Abrahão e Hirakawa (2017).

Figura 35 - Notação E-OntoUML para fluxo de controle sequencial.

Fonte: (MARTINS, 2009).

Figura 36 - Notação E-OntoUML para fluxo de controle paralelo.

Fonte: (MARTINS, 2009).

5.RESULTADOS

Neste capítulo, expõem-se os resultados obtidos em dois aspectos: (1). Um estudo de caso aplicando o modelo proposto na operação agrícola da colheita de cana-de-açúcar, (2) A avaliação do modelo conceitual segundo as metodologias de avaliação de qualidade de ontologias selecionada.

5.1. Estudo de Caso: Colheita da Cana-de-Açúcar

A colheita é uma das operações agrícolas mais importantes da cana-de-açúcar tanto no aspecto estratégico, pois sua eficiência afeta o ATR (Açúcar Total Recuperável)¹ quanto no aspecto de custos de produção, visto que representa 30,9% do custo total de produção (NUNES JR; GONÇALVES, 2016) (Figura 37).

Figura 37 - Custos de produção da cana-de-açúcar safra 2016/2017.

1	FORMAÇÃO DOS CANAVIAIS		
		Descrição	R\$/ha %
		Preparo solo	1.796,42 5,26%
		Plantio	4.319,76 12,64%
		Tratos Cana Planta	933,45 2,73%
1	FORMAÇÃO DOS CANAVIAIS	7.049,63	20,62%
2	TRATOS CANA SOCA	1.879,83	22,00%
3	COLHEITA + TRANSPORTE	2.386,14	34,90%
4	ADMINISTRAÇÃO	1.135,70	3,32%
5	ARRENDAMENTO	1.079,94	18,96%

Fonte: (NUNES JR; GONÇALVES, 2016).

¹ ATR - Açúcar Total Recuperável - representa a qualidade da cana, a capacidade de ser convertida em açúcar ou álcool através dos coeficientes de transformação de cada unidade produtiva.

Segundo Marques (2009), existem três tipos de sistemas de colheita de cana-de-açúcar: (1) o sistema manual, que consiste no emprego da mão-de-obra para o corte e carregamento da matéria-prima, (2) o sistema semi-mecanizado, no qual o corte é manual e o carregamento é mecanizado e (3) o sistema mecanizado, no qual a matéria-prima é cortada e carregada por máquinas, sem a utilização direta da mão-de-obra. (Figura 38).

Enquanto o primeiro é mais comum no nordeste do Brasil ou em pequenas propriedades agrícolas, o segundo e o terceiro são os mais comuns nas grandes unidades produtoras em todo o país. Em São Paulo, o maior estado produtor brasileiro, a colheita mecanizada atingiu 90% da cana colhida, sendo que os 10% foram na sua quase totalidade colhidos sem a queima da palha, segundo determinação Protocolo Agroambiental de 2007 e a Lei estadual n. 11.241 de 2002 (FREDO; CASER, 2017).

Nessa investigação, a colheita de cana-de-açúcar é o objeto de estudo de caso para modelagem conceitual da ontologia de tarefa proposta produzindo como resultado um modelo onde foram considerados todos os aspectos relativos as tarefas envolvidas na operação, recursos, agentes e eventos externos. Cabe salientar, que a proposta tem como foco somente a modelagem da ontologia de tarefa e não a proposta de uma ontologia de domínio para a cana de açúcar, apesar de que a adoção de uma ontologia de fundamentação no modelo proposto venha a permitir a reutilização desta ontologia de tarefa por outras ontologias de domínio semanticamente bem formadas. Como a ontologia de tarefa depende de conceitos de indivíduos e objetos descritos por uma ontologia de domínio, utiliza-se apenas os nomes de instâncias e classes no modelo de tarefa. Foi pressuposto que estes indivíduos ou objetos foram formalmente definidos em uma ontologia de domínio semanticamente bem formada selecionada para reutilização no contexto do modelo proposto. A seguir, o modelo resultante, sua descrição e em seguida a avaliação de qualidade do modelo.

Figura 38 - De cima a esquerda no sentido horário: (1) Colheita Mecanizada, (2) Colheita Manual, (3) Tombamento da cana, (4) Carregamento Mecanizado.

Fonte: (MARQUES, 2009).

5.2. Modelo proposto

O modelo proposto é composto por um conjunto de diagramas em E-OntoUML acrescidos da extensão para descrição de eventos externos proposta por este trabalho para a operação agrícola da colheita de cana-de-açúcar. O modelo segue a hierarquia de operações da S/A Usina Coruripe Açúcar e Álcool, filial de Iturama/MG, obtida com autorização da empresa. A idioma padrão adotado na nomenclatura dos elementos do modelo foi o inglês. O inglês é largamente adotado e aceito pela maioria das ontologias de domínio para a agricultura, porém não há impedimento

para utilização de português ou outro idioma desde que as definições dos conceitos levem em consideração o formalismo ontológico. Nas seções a seguir, ocorre o detalhamento dos elementos do modelo apresentando o nome em português em negrito seguido do respectivo nome em inglês em itálico e entre parênteses.

5.2.1. Detalhamento do modelo

A E-OntoUML permite que as tarefas sejam representadas em diferentes níveis de detalhamento. O diagrama da Figura 39 representa a operação de colheita de cana-de-açúcar selecionada como estudo de caso neste trabalho. Os **agentes** que executam a tarefa são representados no modelo pela partição de atividade como **Conjunto de Operadores** (*set of operators*) e pertencem ao tipo de substanciais **Operador** (*Operator*). O termo “set of” indica que a instância representa um coletivo de objetos do tipo especificado na ontologia de domínio utilizada. A barra de sincronismo indica uma relação temporal **sobrepõe** (*overlaps*) indicando que a tarefa **Colheita** (*Harvest*) é iniciada no tempo antes que o conjunto das atividades de **Carregamento** (*Load*) e **Transporte** (*Transport*). As tarefas de **Carregamento** (*Load*) e **Transporte** (*Transport*), por sua vez, possuem uma relação temporal do tipo **durante** (*during*) o que indica que acontecem simultaneamente no tempo. A tarefa **Colheita** (*Harvest*) possui os estereótipos **interação** (*interaction*) e **participação de agente e objeto** (*object & agente participation*), indicando que se trata de uma **ação** (*action*) na notação da E-OntoUML e que há a participação tanto de **agentes** (*agents*) quanto de **objetos** (*objects*) que representam recursos utilizados pela tarefa. A indicação dos estereótipos é opcional no modelo, e caso for omitida, o estereótipo **interação** é considerado padrão. A tarefa **Colheita** (*Harvest*) possui no canto inferior direito um símbolo em forma de uma árvore invertida indicando que a respectiva tarefa é complexa, ou seja, composta de subtarefas e pode ser decomposta em outros diagramas de modelo. As tarefas **Carregamento** (*Load*) e **Transporte** (*Transport*) tem a mesma notação de estereótipos e também são tarefas complexas, podendo por sua vez serem decompostas em subáreas. Nota-se no modelo a ausência de uma barra de sincronização antes do término da tarefa, indicado pelo respectivo símbolo no diagrama de atividade UML. Isso indica que as tarefas não precisam, necessariamente, terminar ao mesmo tempo para encerrar a colheita.

Figura 39 - Modelo conceitual de ontologia de tarefa para operações de corte, carregamento e transporte, visão não detalhada.

Fonte: autor.

No diagrama da Figura 40 é representada a tarefa de corte manual de cana-de-açúcar. Esta tarefa é realizada quando as condições de declividade do canal são maiores que os limites permitidos para a colheita mecanizada. Os valores para estes limites são especificados pelas propriedades do conceito que representa a área de cultivo na ontologia de domínio, portanto parte-se do pressuposto que se esta operação é realizada em uma determinada área é porque esta área possui uma declividade que demanda corte manual. No modelo, os **agentes** são representados pelas instâncias das classes: **Operador de Trator** (*Tractor Operator*), **Trabalhador do Corte Manual** (*Manual Cut Worker*), **Operador de Carregadeira** (*Loader Operator*) e **Operador de Caminhão** (*Truck Operator*). Neste diagrama, as tarefas estão decompostas em tarefas atômicas. Após o início da tarefa, indicada pelo respectivo símbolo do diagrama de atividade UML, a tarefa **Preparar Colheita** (*Prepare Havest*) é executada. Essa tarefa corresponde a tarefa de aceiro, ou seja, tombamento da cana para o interior do limite do talhão de cana e é executada antes do início do corte manual. Após a execução da tarefa de **Preparar Colheita** (*Prepare Havest*) uma aresta de atividade aponta para a barra de sincronismo, indicando um fluxo de controle que irá iniciar as próximas tarefas. Por ser um fluxo do tipo **sequencial** (*sequence*), não precisa ser exibido o estereótipo no modelo por padrão. A barra de sincronismo, por sua vez, indica que a operação de Colheita

Manual (Manual Harvest) possui uma relação temporal do tipo **sobrepõe** (*overlaps*) com as demais operações **Carregamento** (*Load*) e **Transporte** (*Transport*). Isso indica que a operação de colheita pode ser iniciada antes da operação de carregamento e transporte e que as operações de carregamento e transporte podem ser iniciadas enquanto o corte manual ainda está sendo executado. As operações de **Carregamento** (*Load*) e **Transporte** (*Transport*), por sua vez, são iniciadas após uma barra de sincronismo que indica uma relação temporal do tipo **durante** (*during*), indicando que ambas operações acontecem simultaneamente. Na operação de **Preparar Colheita** (*Prepare Harvest*) é utilizada uma instância do recurso **Trator Leve** (*Ligthweight Tractor*). A aresta de atividade que parte do recurso para a atividade indica uma participação de **uso** (*usage*) e não precisa ser representada no estereótipo por padrão. A mesma tarefa também utiliza como recurso a **Área para Colheita** (*Harvest Land*) que possui uma indicação de estado como sendo **não preparada** (*not prepared*), indicada entre colchetes e uma participação do tipo **uso** (*usage*). A mesma instância de recurso aparece em seguida no modelo com outro estado, **preparada** (*prepared*), indicando que a execução da tarefa alterou o estado do recurso. Neste caso a aresta de atividade parte da tarefa em direção ao recurso exibindo a legenda que indica o tipo de ação que a tarefa exerceu no recurso como sendo **alteração** (*change*). Em seguida, o recurso **Área para Colheita** (*Harvest Land*), com estado de preparada, serve como recurso com participação tipo **uso** (*usage*) para a operação de **Corte Manual** (*Manual Cut*). Esta operação, após executada altera o estado da **Área para Colheita** (*HarvestLand*) para **cortada manualmente** (*hand cuted*). A mesma tarefa também utiliza como recurso a matéria prima **Cana-de-Açúcar Inteira** (*Hole Cuted Sugar Cane*) alterando seu estado de **não cortada** (*not havested*) para **cortada e não carregada** (*cuted and not loaded*). A **Cana-de-Açúcar Inteira** (*Hole Cuted Sugar Cane*) no estado **cortada e não carregada** (*cuted and not loaded*), por sua vez, é recurso com participação do tipo **uso** (*usage*) para a operação de **Carregamento** (*Load*), que após executada vai alterar seu estado para **Carregada** (*Loaded*). A operação de **Carregamento** (*Load*) também conta com a participação do tipo **uso** (*usage*) de uma instância do recurso **Trator Carregadeira** (*Loader*). A operação **Transporte** (*Transport*) tem participação do tipo **uso** (*usage*) do recurso **Cana-de-Açúcar Inteira** (*Hole Cuted Sugar Cane*) alterando seu estado para **Descarregada** (*Unloaded*) após execução da tarefa. A

mesma tarefa utiliza como recurso de participação tipo **uso** (*usage*) uma instância de **Caminhão de Cana Inteira** (*Hole Cane Truck*). O modelo descreve ainda dois tipos de eventos externos: (1) Evento de Clima (*Weather Event*) cujo tipo é representado pelo estereótipo **Evento Ordinário não Planejado** (*Unplanned Ordinary Event*) e (2) **Evento de Mal Funcionamento** (*Malfunction*) cujo tipo é representado pelo estereótipo **Evento de Exceção** (*Exception Event*). O primeiro pode ser disparado sobre as tarefas de **Corte Manual**, **Carregamento** e **Transporte**, indicando que condições climáticas, como chuva, podem alterar o estado das respectivas operações atrasando ou cancelando sua execução. O segundo tipo de evento pode ser disparado sobre os equipamentos utilizados como recursos na operação (**Trator Leve**, **Trator Carregadeira** e **Caminhão de Cana Inteira**), indicando, por exemplo, uma quebra de equipamento que altere seu estado impedindo que seja utilizado como recurso na tarefa. Mais eventos de outros tipos como Troca de Turno (POE) e Manutenção de Equipamento (POE) foram identificados na operação de colheita porém não foram representados neste modelo por falta de espaço.

O diagrama da Figura 41 representa a operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. A operação utiliza como **agentes** instâncias de **Operador de Colhedeira** (*Harvest Operator*), **Operador de Trator de Transbordo** (*Wagon Tractor Operator*) e **Operador de Caminhão** (*Truck Operator*). No início da operação há uma barra de sincronismo que indica que as operações que se iniciam são paralelas e tem uma relação temporal do tipo **durante** (*during*), ou seja, são executadas simultaneamente. A tarefa **Colheita Mecanizada** (*Mechanized Harvest*) utiliza o recurso **Área Colhida Mecanicamente** (*Mechanized Harvested Land*) alterando seu estado de **não colhida** (*not harvested*) para **colhida** (*harvested*). A mesma tarefa também utiliza uma instância do recurso **Colhedeira** (*Harvester*) e a matéria prima **Cana Picada** (*Chopped Cuted Sugar Cane*) alterando seu estado de **não cortada** (*uncuted*) para **cortada** (*cuted*).

Figura 40 - Modelo conceitual de ontologia de tarefa para operação de colheita manual de cana-de-açúcar.

Fonte: autor.

O recurso **Cana Picada** (*Chopped Cuted Sugar Cane*) no estado **cortada** (*cuted*), por sua vez, é utilizada pela tarefa de **Transbordo** (Transshipment) com participação do tipo **uso** (*usage*), transformando seu estado para **carregada** (*loaded*). A tarefa de **Transbordo** (Transshipment) também utiliza como recurso uma instância de **Trator de Transbordo** (*Heavy Tractor*) e uma ou mais instâncias de **Carreta de Transbordo** (*Truck Wagon*), alterando o estado destas últimas de **não carregada** (*unloaded*) para **carregada** (*loaded*) após a execução da tarefa. **Cana**

Picada (*Chopped Cuted Sugar Cane*) no estado **carregada** (*loaded*), é então utilizada como recurso pela tarefa **Transporte** (*Transport*), que após executada altera seu estado para **descarregado** (*unloaded*). A mesma tarefa tem ainda a participação de uma instância de **Cavalo Mecânico** (*Mechanical Horse*) de uma ou mais instâncias da **Carreta** (*Truck Wagon*), alterando seu estado de **carregada** (*loaded*) para **não carregada** (*unloaded*). Por fim o modelo representa os mesmos dois tipos de eventos externos da operação de corte manual, porém nesta operação um EE pode ser disparado sobre todos os equipamentos: **Colhedeira** (*Harvester*), **Trator de Transbordo** (*Heavy Tractor*), **Cavalo Mecânico** (*Mechanical Horse*) e **Carreta** (*Truck Wagon*) e um UOE pode ser disparado sobre todas as tarefas que compõem a operação de colheita mecanizada. Novamente, optou-se por não representar outros eventos identificados na operação por falta de espaço.

5.2.2. Avaliação do modelo proposto

Para avaliar o modelo proposto nesta investigação, ressaltam-se dois aspectos: (1) conformidade da extensão para representação dos eventos externos em relação a notação E-OntoUML e (2) Conformidade do modelo para expressar as tarefas agrícolas da cana-de-açúcar.

5.2.2.1. Conformidade com a notação E-OntoUML

Martins (2009) utiliza o método proposto na seção 3.1.8 para avaliar o modelo conceitual da E-OntoUML quanto as aspectos de: (1) solidez, (2) completude, (3) lucidez e (4) laconicidade. Visto que o modelo conceitual proposto neste trabalho utiliza o E-OntoUML, formalmente fundamentada na UFO, faz-se necessário avaliar somente a notação proposta por este trabalho referente a representação de eventos externos a tarefa, parte fundamental de um modelo que representa a ontologia de tarefa proposta. Na Tabela 7 avaliam-se os elementos utilizados na notação E-OntoUML em comparação com os elementos utilizados pelos Eventos de Disparo (TE).

Figura 41 - Modelo conceitual para ontologia de tarefa para operação de colheita mecanizada de cada de açúcar.

Tabela 7 - Avaliação comparativa entre elementos de representação de conceitos na E-OntoUML e Eventos de Disparo (TE).

Conceito	Elemento do Modelo	Representação de Elementos	
		E-OntoUML	TE
Agente	Partição de atividade	X	
Objeto	Nó de atividade	X	
Ação ou tarefa	Nó de atividade	X	X
Classe ou tipo	Estereótipo	X	X
Decomposição em subáreas	Símbolo árvore invertida	X	X
Fluxo de controle	Aresta de atividade	X	X
Estado da tarefa ou objeto	Anotação entre colchetes	X	X
Nó de decisão	Nó de decisão	X	
Sincronismo	Barra de Sincronismo	X	
Disparo de Evento Externo	Estereótipo		X

Fonte: autor.

A notação utilizada para representar os eventos externos a tarefa (TE) é isomórfica em relação a notação E-OntoUML. Os conceitos de Agente, Objeto, Nó de decisão e Sincronismo não tem correspondente na notação para TE, porém, os demais conceitos utilizam os mesmos elementos de modelo da E-OntoUML. A notação de disparo (triggers), presente somente nos TEs, utiliza estereótipo no mesmo formato da E-OntoUML. Conclui-se, portanto, que a extensão do perfil E-OntoUML é aderente ao formalismo do E-OntoUML, permitindo afirmar que a avaliação no modelo feita por Martins (2009), também se aplica a extensão proposta por este trabalho.

5.2.2.2. Conformidade com as tarefas agrícolas da cana-de-açúcar

Uma vez garantida a conformidade da extensão proposta neste trabalho com o meta-modelo da linguagem E-OntoUML, outra característica importante para avaliar a qualidade de um modelo conceitual é a sua capacidade de expressar o maior quantidade possível de conceitos do domínio que representa. No estudo de caso da operação agrícola de colheita de cana-de-açúcar o modelo proposto foi capaz de representar: (1) Agentes: quem realiza a tarefa, (2) Ações: os eventos ou tarefas propriamente ditas, (3) Objetos: máquinas, insumos, matéria prima e outros recursos

utilizados, alterados, criados ou destruídos pelas tarefas, (4) Fluxo de Controle: sequência de realização das tarefas e desvios condicionais, (5) Sincronismo: junção, disjunção e relações temporais para eventos sequenciais e paralelos e (6) Eventos externos: representam os motivos de parada, exceções ou eventos ordinários externos a tarefa, planejados e não planejados. Com a adição da extensão para representação de eventos externos ao meta-modelo da E-OntoUML foi possível representar as operações agrícolas do estudo de caso com sucesso pois todos os aspectos operacionais, incluindo os motivos de parada, podem ser mapeados pelo modelo.

6. CONCLUSÕES

A contribuição desta investigação pode ser analisada em diferentes aspectos. Primeiramente foi desenvolvida uma metodologia para produzir um modelo conceitual para representar uma ontologia de tarefa. Para isso foi necessário compreender a natureza das operações agrícolas e os formalismos para descrição do conhecimento. A partir do estudo dos formalismos pode-se compreender a necessidade de se utilizar um ontologia de fundamentação para garantir uma base comum de definições de conceitos a partir da qual pode-se desenvolver o modelo conceitual. O modelo, propriamente dito, é que vai permitir implementações em RDF ou OWL e a construção de bases de dados em triplas, que por sua vez viabilizam a interoperabilidade entre os sistemas agrícolas canavieiros. Nas próximas seções, segue uma análise mais detalhada do processo descrito acima, as lições aprendidas e as perspectivas de pesquisa futura.

6.1. Metodologia

As etapas para a construção do modelo conceitual propostas neste trabalho seguiram uma linha lógica que permitiu a captura do conhecimento das operações agrícolas, tanto no aspecto estrutural quanto no comportamental.

A primeira proposta deste estudo se concentrava somente na definição de conceitos, atributos e relacionamentos entre os conceitos e sua representação através de um padrão semântico com uso de ontologias. No decorrer do trabalho percebeu-se que o mapeamento dos processos das operações agrícolas diretamente na implementação utilizando RDF ou OWL poderia resultar em erros de interpretação e falha na captura do conhecimento, principalmente no que tange aos aspectos comportamentais como a sequência de tarefas e os eventos externos que influenciam a execução das tarefas. Por esse motivo, optou-se por representar as operações através do modelo gráfico da E-OntoUML. Os diagramas de classe e atividade da UML se mostraram eficazes para descrever os processos das operações agrícolas e permitiram a descrição da operação de colheita de cana-de-açúcar tanto na visão estrutural quanto comportamental.

Também foi importante salientar que a pesquisa visava, a princípio, a interoperabilidade entre os sistemas agrícolas e por isso o estudo dos protocolos de troca de dados. No decorrer dos estudos, constatou-se que para haver interoperabilidade seria necessário formalismo e para se obter formalismo seria necessário um modelo para descrever formalmente os processos. Se o trabalho fosse refeito, o primeiro passo seria o estudo dos modelos de representação de processo ao invés dos protocolos de comunicação de dados.

Outro aspecto importante da metodologia utilizada foi a seleção de uma ontologia de fundamentação, no caso a UFO. Esta ontologia proporcionou uma base comum para conceitos básicos e por ser independente da ontologia de domínio e tarefa facilitará a implementação do modelo em RDF ou OWL. A utilização da UFO também foi um fator facilitador na avaliação de qualidade do modelo, visto que a E-OntoUML utiliza a UFO como base para seus modelos e teve sua estrutura validada anteriormente por seus autores, bastando que fosse validada neste trabalho a estrutura dos Eventos Externos, uma vez que foi proposta neste trabalho.

As soluções propostas para objetivos da pesquisa propostas por este trabalho podem ser vistas na Figura 42:

Figura 42 - Modelo conceitual para ontologia de tarefa para operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Fonte: autor.

A metodologia utilizada para a criação do modelo pode ser estendida a outras culturas agrícolas e pode ser utilizada para descrever operações agrícolas em grande ou pequena escala. Possíveis implementações e novas linhas de pesquisa são discutidas a seguir.

6.2. Contribuição

Além da proposta de um modelo conceitual para as operações da cana-de-açúcar, uma contribuição importante para a correta representação dos processos agrícolas foi a extensão para modelar os "Eventos de Disparo" ou "Eventos Externos a Tarefa" propostos neste trabalho. Essa extensão permitiu que os motivos de interrupção das operações fossem descritos pelo modelo e poderão ser descritos adequadamente nas implementações derivadas do modelo.

A correta descrição dos processos agrícolas canavieiros, permite, por fim, que os sistemas que empreguem implementações do modelo para descrever o

conhecimento das operações agrícolas sejam interoperáveis e compartilhem uma base de conhecimento comum.

6.3. Sugestões de implementação

Implementações do modelo para as operações agrícolas podem ser feitas em formatos como RDF e OWL e são independentes da ontologia de domínio selecionada o que possibilita a reutilização de ontologias agrícolas existentes. A utilização de uma ontologia de fundamentação confere a implementação bases comuns para interpretação do conhecimento das operações agrícolas. Uma implementação baseada no modelo proposto permitirá que o conhecimento sobre estas operações seja corretamente representado em sistemas computacionais sem a necessidade de se acessar os sistemas especialistas distribuídos por toda a cadeia produtiva, e, portanto, satisfazendo os objetivos deste trabalho.

6.4. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros pode-se sugerir a continuidade do presente trabalho em diversos aspectos:

- (1) Implementações: implementações do modelo conceitual para as demais operações da cana-de-açúcar e sua validação junto a empresas agrícolas tanto em RDF quanto OWL podem ser alvo de uma pesquisa de iniciação científica. O modelo pode ser implementado em RDF ou OWL, e podem ser utilizadas ferramentas de modelagem como o editor de OntoUML sugerido por Guizzard (GUERSON et al., 2015) para produzir modelos compatíveis com o formato proposto neste trabalho. A implementação de um banco de dados baseado em triplas permitirá, a partir da implementação, que os dados sejam compartilhados com os agentes envolvidos e uma base prática para a interoperabilidade possa ser constituída.
- (2) Estudos de Caso: estudos de casos para modelar as operações agrícolas de outras culturas agrícolas utilizando o modelo proposto nesse trabalho podem ser adequadas para uma dissertação de mestrado. Averiguar se existem “Eventos Externos” para outras culturas em contextos não descritos por este trabalho podem ser uma contribuição de valor para esta linha de pesquisa.

- (3) Linguagens de Modelagem: a pesquisa de outras linguagens de modelagem, em especial as de modelo de negócios como BPM para descrever os processos das operações agrícolas, assim como diferentes representações gráficas além da UML podem ser assuntos interessantes para uma pesquisa de doutorado. É importante o estudo dos modelos conceituais, principalmente no que tange a granularidade da representação gráfica. Modelos com uma representação simplificada podem ser mais adequados para descrever processos menos complexos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, E.; HIRAKAWA, A. R. **Task Ontology Modeling for Technical Knowledge Representation in Agriculture Field Operations Domain**. 2017 Second International Conference on Information Systems Engineering. **Anais...**Charleston: IEEE, 2017
- ALLEN, J. F. **Maintaining Knowledge about Temporal Intervals**. v. 26, n. 11, p. 832–843, 1983.
- AQEEL-UR-REHMAN; ZUBAIR AHMED SHAIKH. **ONTAgri: Scalable Service Oriented Agriculture Ontology for Precision Farming**. 2011 International Conference on Agricultural and Biosystems Engineering, n. August 2015, p. 411–413, 2011.
- BASTOS, R. M.; RUIZ, D. D. A. **Extending UML Activity Diagram for Workflow Modeling in Production Systems**. Proceedings of 35th Hawaii International Conference on System Sciences, v. 0, n. c, p. 1–10, 2002.
- BECK, H. W.; KIM, S.; HAGAN, D. **A Crop-Pest Ontology for Extension Publications**. EVITA 2005 Proceedings, n. July, p. 1169–1176, 2005.
- BENEVIDES, A. B.; GUIZZARDI, G. **A Model-Based Tool for Conceptual Modeling and Domain Ontology Engineering in OntoUML: Ontology and Conceptual Modeling Research Group (NEMO)**. **Anais...**Vitoria, ES, Brazil: Federal University of Espírito Santo (UFES), 2009Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=343913.343966>>
- BEYDOUN, G. et al. **How do we measure and improve the quality of a hierarchical ontology?** Journal of Systems and Software, v. 84, n. 12, p. 2363–2373, dez. 2011.
- BONTAS, E. P.; MOCHOL, M.; TOLKSDORF, R. **Case Studies on Ontology Reuse**. Proceedings of I-KNOW'05, p. 345–353, 2005.
- BOTTAZZI, E.; FERRARIO, R. **Preliminaries to a DOLCE ontology of organisations**. International Journal of Business Process Integration and Management, v. 4, n. 4, p. 225, 2009.
- BRACHMAN, R. J.; SCHMOLZE, J. G. **An overview of the KL-ONE Knowledge**

Representation System. Cognitive Science, v. 9, n. 2, p. 171–216, 1985.

BRANK, J.; GROBELNIK, M.; MLADENIĆ, D. **A survey of ontology evaluation techniques.** 2005.

CANDAN, K. S.; LIU, H.; SUVARNA, R. **Resource Description Framework: Metadata and Its Applications.** SIGKDD Explorations, v. 3, n. 1, p. 6–19, 2001.

CGIAR. **Plataform for Big Data in Agriculture.** Disponível em: <<http://bigdata.cgiar.org/ontology/>>. Acesso em: 1 set. 2017.

CHUANG, T.-L.; FANG, K.-T. **Ontology-Based for Requirement Analyze and Design-Knowledge Network Learning Diagnosis Analysis System.** 2007 International Conference on Convergence Information Technology (ICCIT 2007), p. 1838–1843, 2007.

CORNEJO, C. et al. **Development and Application of an Irrigation Ontology.** EFITA/WCCA Joint Congress on IT in Agriculture. **Anais...**2005.

CRANEFIELD, S.; PURVIS, M. **UML as an Ontology Modelling Language.** IJCAI-99 Workshop on Intelligent Information Integration. **Anais...**Dunedin, New Zealand: University of Otago - Department of Information Science, 1999.

CROP AND AGRONOMY ONTOLOGY COMMUNITY. **Crop Ontology.** Disponível em: <<http://tinyurl.com/COcommunity>>. Acesso em: 2 set. 2017.

DINESHKUMAR, P. et al. **A Comprehensive Agriculture Ontology:** Modular Approach. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, v. 1, n. 10, p. 364–370, 2014.

DUCKER, P. **The Age of Discontinuity:** Guidelines to Our Changing Society. [s.l.] Harper & Row, 1992.

DUQUE-RAMOS, A. et al. OQuaRE: **A square-based approach for evaluating the quality of ontologies.** Journal of Research and Practice in Information Technology, v. 43, n. 2, p. 159–176, 2011.

DZUNIC, M.; SUBOTIC, J. **The Importance of Concepts of Knowledge Management and Learning Organization in Managing the Knowledge - Flow in Organizations 1 .** Knowledge Economy. n. 47028, p. 301–311, 2014.

ECMA. **ECMAScript® 2017 Language Specification.** Geneva: [s.n.].

FALBO, R. D. A. **Experiences in Using a Method for Building Domain Ontologies**. 16th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering SEKE 2004, p. 474--477, 2004.

FALBO, R. D. A.; GUIZZARDI, G.; DUARTE, K. C. **An ontological approach to domain engineering**. International conference on Software engineering and knowledge engineering, p. 351, 2002.

FAO. **AGROVOC Linked Open Data Agricultural Information**. Disponível em: <<http://aims.fao.org/aos/agrovoc/>>. Acesso em: 9 nov. 2017.

FERSMAN, E.; PETTERSSON, P.; YI, W. **Timed Automata with Asynchronous Processes : Schedulability and Decidability**. Lecture Notes in Computer Science, p. 67–82, 2002.

FIPS PUB 161-1. **Electronic Data Interchange (EDI)**. National Institute of Standards and Technology, 1993.

FREDO, C. E.; CASER, D. V. **Mecanização da Colheita da Cana-de-açúcar Atinge 90% na Safra 2016/17**. IEA - Instituto de Economia Agrícola, v. 12, n. 6, 2017.

FÜZESI, I.; HERDON, M. **EDI - XML Standards and Technologies in the Agri-Food Industry**. Summer university on it agriculture and rural development, Debrecen, 2007.

GAFFAR, A. et al. **Modeling patterns for task models**. Proceedings of the 3rd annual conference on Task models and diagrams, v. 2, n. 1, p. 99–104, 2004.

GOUMOPOULOS, C. et al. **The PLANTS System: Enabling Mixed Societies of Communicating Plants and Artefacts**. Ambient Intelligence, v. 3295, p. 184–195, 2004.

GRUBER, T. R. **A translation approach to portable ontology specifications**. Knowledge Acquisition, v. 5, n. 2, p. 199–220, jun. 1993.

GUAN, S.; NAKAMURA, M.; SHIKANAI, T. **Hybrid Petri Nets and Metaheuristic Approach to Farm Work Scheduling** *Advances in Petri Net Theory and Applications*. OkinawaTauseef Aized (Ed.), , 2010. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/advances-in-petri-net-theory-and-applications/hybrid-petri-nets-and-metaheuristic-approach-to-farm-work-scheduling>>

GUARINO, N. **Formal Ontology and Information Systems**. International Conference on Formal Ontology in Information Systems. **Anais...**Trento, Italy: 1998 Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.29.1776&rep=rep1&type=pdf>>

GUARINO, N.; WELTY, C. A. **An overview of OntoClean**. Handbook on ontologies, p. 1–20, 2009.

GUERSON, J. et al. **OntoUML lightweight editor**: A model-based environment to build, evaluate and implement reference ontologies. Proceedings of the 2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops and Demonstrations, EDOCW 2015, p. 144–147, 2015.

GUIZZARDI, G. et al. **An Ontologically Well-Founded Profile for UML Conceptual Models**. Advanced Information Systems Engineering, p. 112–126, 2004.

GUIZZARDI, G. **Ontological Foundations for Structural Conceptual Model**. [s.l: s.n.].

GUIZZARDI, G. **On Ontology, ontologies, Conceptualizations, Modeling Languages, and (Meta)Models**. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Databases and Information Systems IV. IOS Press, Amsterdam., v. 155, n. August, p. 18–39, 2007.

GUIZZARDI, G.; WAGNER, G. **A Unified Foundational Ontology and some Applications of it in Business Modeling**. CAiSE Workshops, p. 129–143, 2005.

GUIZZARDI, R. **Agent-oriented Constructivist Knowledge Management**. [s.l: s.n.].

HERRE, H. et al. **General Formal Ontology (GFO)**. A Foundational Ontology Integrating Objects and Processes Heinrich. Leipzig, Germany: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.onto-med.de/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

HOSHI, T. **BIX-pp - BioInformation Exchange for Plant Production**. Disponível em: <<http://bix-pp.info/index.htm>>. Acesso em: 27 set. 2015.

IEEE. **IEEE Standard for Developing Software Life Cycle Processes**. [s.l: s.n.]. v. 1997.

IKEDA, M. et al. **Task ontology**: Ontology for building conceptual problem solving models. Proceedings of ECAI98, p. 126–133, 1998.

ISO/IEC 14598. **Information Technology — Software Product Evaluation - Part 1**. v. 1999, 1999.

JONQUET, C. et al. **Reusing the NCBO BioPortal technology for agronomy to build AgroPortal**. 7th International Conference on Biomedical Ontologies. **Anais...**Corvallis, Oregon, USA: 2016

KARWOWSKI, W. **Ontologies and agricultural information management standards**. Information systems in management vi - ontologies and data base technologies, p. 47–56, 2010.

KAWTRAKUL, A. **Ontology Engineering and Knowledge Services for Agriculture Domain**. Journal of Integrative Agriculture, v. 11, n. 5, p. 741–751, maio 2012.

KEET, M. **Metadata and Semantics conference**. MTSR'09 and semantics for the agricultural domain. Disponível em: <<https://keet.wordpress.com/2009/10/04/metadata-and-semantics-conference-mtsr'09-and-semantics-for-the-agricultural-domain/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

KOGUT, P. et al. **UML for ontology development**. The Knowledge Engineering Review, v. 17, n. 1, p. 61–64, 2002.

LENAT, D.; GUHA, R. V. **Building Large Knowledge based Systems: Representation and Inference in the CYC Project**. Reading, Massachusetts: Addison Wesley, 1990.

LI, D. et al. **An ontology-based knowledge representation and implement method for crop cultivation standard**. Mathematical and Computer Modelling, v. 58, n. 3–4, p. 466–473, ago. 2013.

LI, M. Y. et al. **A design of spatial decision support system to enhance decision progress in agricultural actions**. 2014 The 3rd International Conference on Agro-

Geoinformatics, Agro-Geoinformatics 2014, 2014.

LIU, W. Y.; FANG, K. **Using IDEF0/Petri net for ontology-based task knowledge analysis: The case of emergency response for Debris-flow**. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, v. 4, n. C, p. 1–10, 2006.

LÓPEZ, F. **Overview Of Methodologies For Building Ontologies**. Proceedings of the IJCAI99 Workshop on Ontologies and ProblemSolving Methods Lessons Learned and Future Trends CEUR Publications, v. 1999, n. 2, p. 1–13, 1999.

LOZANO-TELLO, A.; GÓMEZ-PÉREZ, A. **Ontometric: A method to choose the appropriate ontology**. Journal of Database Management, v. 2, n. 15, p. 1–18, 2004.

MACINTOSH, A. **Position Paper on Knowledge Asset Management**. Disponível em: <<http://www.aiai.ed.ac.uk/~alm/kam.html>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

MALEK, S.; MUSTAPHA, F. D. S.; UKPE, E. **Agriculture Ontology for Sustainable Development in Nigeria**. v. 3, n. 3, p. 57–59, 2013.

MALIAPPIS, M. T. **Using Agricultural Ontologies** (M. Sicilia, MA and Lytras, Ed.)Metadata and Semantics. **Anais...**Newy York: SPRINGER, 2009

MALIK, N.; SHARAN, A.; HIJAM, D. **Ontology Development for Agriculture Domain**. 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom). **Anais...**2015

MAPA. **Safra de cana-de-açúcar 2017/2018 é estimada em 647,6 milhões de toneladas**. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/noticias/safra-de-cana-de-acucar-2017-2018-e-estimava-em-647-6-milhoes-de-toneladas>>. Acessado em 17/01/2018.

MARQUES, P. V. **Custos de Produção Agrícola e Industrial de Açúcar e Álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: [s.n.].

MARTINI, DANIEL; SCHMITZ, MARIO, MIETZSCH, E. **AgroRDF as a Semantic Overlay to agroXML : a General Model for Enhancing Interoperability in Agrifood Data Standards**. n. June 2013, p. 24–27, 2013.

MARTINI, D.; SCHMITZ, M.; KUNISCH, M. **Efficient information exchange in agrifood — the harmonization challenge**. 2011.

MARTINS, A. F. **Construção de ontologias de tarefa e sua reutilização na engenharia de requisitos**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2009.

MARTINS, A. F. et al. **Uso de uma Ontologia de Fundamentação para Dirimir Ambiguidades na Modelagem de Processos de Negócio**. 7th Brazilian Symposium **Anais...**2011.

MARTINS, A. F.; FALBO, R. DE A. **Models for representing task ontologies**. CEUR Workshop Proceedings, v. 427, 2008.

MENG, X. et al. **Large-Scale Ontology Development and Agricultural Application Based on Knowledge Domain Framework**. Journal of Integrative Agriculture, v. 11, n. 5, p. 808–822, maio 2012.

MENTHOR. **UntoUML Menthor Repository**. Disponível em: <<http://www.menthor.net/model-repository.html>>. Acesso em: 3 set. 2017.

MINIQUIEL, G. **Workshop sobre Gerenciamento Agrícola no Setor Sucro-alcooleiro**. Projeto Programa de Pesquisas em Políticas Públicas. **Anais...**Piracicaba: GATEC, 2008.

MIZOGUCHI, R.; TIJERINO, Y.; IKEDA, M. **Task analysis interview based on task ontology**. Expert Systems With Applications, v. 9, n. 1, p. 15–25, 1995.

MURATA, T. **Petri nets: properties, analysis and applications**. Proceedings of the IEEE. **Anais...**1989.

NCITS. **Knowledge Interchange Format**. Disponível em: <<http://www.ncits.org/>>. Acesso em: 4 set. 2017.

NILES, I.; PEASE, A. **Towards a Standard Upper Ontology**. The 2nd International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS-2001), p. 2–9, 2001.

NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. **Ontology Development 101 : A Guide to Creating Your First Ontology**. p. 1–25, 2000.

NUNES JR, D.; GONÇALVES, J. L. **Onde atacar para reduzir custos na área agrícola**. Disponível em: <http://www.assocana.com.br/restrito/15o_Sem.Prod.Red.Custo_Palestra13.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2017.

O'DELL, C.; HUBERT, C. **The new edge in knowledge: how knowledge management is changing the way we do business**. 1st. ed. Hoboken, New

Jersey: [s.n.].

OMG. **Business Process Modeling Notation Specification**. Final Adopted Specification, , 2006.

OPEN DEFINITION. **The Open Definition**. Disponível em: <<http://opendefinition.org/>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

PANEK, S.; ENGELL, S.; STURBERG, O. **Scheduling and planning with timed automata**. Computer Aided Chemical Engineering, v. 21, n. C, p. 1973–1978, 2006.

PRATA, B. DE A. **Controle supervisorio da cadeia produtiva de biodiesel da mamona baseado em redes de petri**. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2007.

RICO, M. et al. **OntoQualitas: A framework for ontology quality assessment in information interchanges between heterogeneous systems**. Computers in Industry, v. 65, n. 9, p. 1291–1300, dez. 2014.

SCHMIDT, D. et al. **An Ontology-Based Mobile Application for Task Managing in Collaborative Groups**. Proceedings of the 29th International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, FLAIRS 2016, p. 522–525, 2016.

SCHUSTER, E. W.; LEE, H.-G. **Semantics and syntax**. [s.l: s.n.].

SILVA, D. L. DA; SOUZA, R. R.; ALMEIDA, M. B. **Comparação de metodologias para construção de ontologias e vocabulários controlados**. Seminário de pesquisa em ontologia no Brasil. **Anais...**Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2008

SONG, G. et al. **Study on Precision Agriculture Knowledge Presentation with Ontology**. AASRI Procedia, v. 3, p. 732–738, 2012.

TAKEDA, H. et al. **AAO (Agriculture Activity Ontology)**. Disponível em: <<http://cavoc.org/aa/>>. Acesso em: 6 set. 2017.

TARTIR, S. et al. **OntoQA: Metric-Based Ontology Quality Analysis**. IEEE Workshop on Knowledge Acquisition from Distributed, Autonomous, Semantically Heterogeneous Data and Knowledge Sources, p. 45–53, 2005.

TARTIR, S.; ARPINAR, I. B.; SHETH, A. P. **Ontological evaluation and validation**. 2003.

TERHORST, A.; MORSHED, A. **AgroKnowledgeBase (AKB) for plant diseases :**

Poppy plant use case. SML2OD Workshop. **Anais...**2013.

TEYE, F.; HOSLTER, H.; PESONEN, L. **State of art data exchange in agriculturethe EU27 & Switzerland**: survey of the agriXchange project. MIT Agrifood research Filand Plant Production Resaerch Crop Science and Technologie. [s.l: s.n.].

W3C. **OWL Web Ontology Language**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/owl-features/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

W3C. **Extensible Markup Language Schema (XML Schema) 1.1**. Disponível em: <<http://www.w3.org/XML/Schema>>. Acesso em: 27 set. 2015.

W3C. **Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)**. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/xml/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

W3C. **SKOS Simple Knowledge Organization System Reference**. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/skos-reference/>>. Acesso em: 9 set. 2017.

W3C. **RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax**. Disponível em: <<https://www.w3.org/RDF/>>. Acesso em: 9 set. 2017.

W3C. **Semantic Web**. Disponível em: <<http://www.w3.org/standards/semanticweb>>. Acesso em: 27 set. 2015.

WEI, Y. et al. **From Web Resources to Agricultural Ontology**: a Method for Semi-Automatic Construction. Journal of Integrative Agriculture, v. 11, n. 5, p. 775–783, maio 2012.

WILDEMANN, T.; SALOKHE, G.; KEIZER, J. **Applying New Trends to the Management of Bibliographic Information on Agriculture**. Zeitschrift für Agrarinformatik, p. 9–13, 2004.

XAVIER, C. E. O. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil**: Acompanhamento da safra 2011/2012 - Centro-sul. 1ª Edição Fevereiro de 2012. [s.l: s.n.].

XIE, N.; WANG, W.; YANG, Y. **Ontology-based agricultural knowledge acquisition and application**. IFIP International Federation for Information Processing, v. 258, p. 349–357, 2008.

YAMADA, M. C.; PORTO, A. J. V.; INAMASU, R. Y. **Aplicação dos conceitos de**

modelagem e de redes de Petri na análise do processo produtivo da indústria sucroalcooleira. Pesquisa Agropecuária Brasileira – PAB. EMBRAPA, Edição Mensal, n. 1, p. 809–820, 2002.

YU, J.; THOM, J. A.; TAM, A. **Requirements-oriented methodology for evaluating ontologies.** Information Systems, v. 34, n. 8, p. 766–791, dez. 2009.

ZHENG, Y. et al. **Construction of the Ontology-Based Agricultural Knowledge Management System.** Journal of Integrative Agriculture, v. 11, n. 5, p. 700–709, maio 2012.

ZINS, C. **Conceptual Approaches for Defining Data, Information, and Knowledge.** Journal of the American Society for Information Science and Technology, v. 58, n. 4, p. 479–493, 2007.