
Ontologias e DSLs na geração de sistemas de apoio à decisão, caso de estudo SustenAgro

John Freddy Garavito Suárez

SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito:

Assinatura: _____

John Freddy Garavito Suárez

Ontologias e DSLs na geração de sistemas de apoio à decisão, caso de estudo SustenAgro

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências
Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Ciências – Ciências de Computação e
Matemática Computacional.

EXEMPLAR DE DEFESA

Área de Concentração: Ciências de Computação e
Matemática Computacional

Orientador: Prof. Dr. Dilvan de Abreu Moreira

USP – São Carlos
Março de 2017

John Freddy Garavito Suárez

**Ontologies and DSLs in the generation of
decision support systems,
SustenAgro study case**

Master dissertation submitted to the Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, in partial fulfillment of the requirements for the degree of the Master Program in Computer Science And Computational Mathematics. EXAMINATION BOARD PRESENTATION COPY

Concentration Area: Computer Science and Computational Mathematics

Advisor: Prof. Dr. Dilvan de Abreu Moreira

**USP – São Carlos
March 2017**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi
e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L965c Garavito S., John Freddy
Ontologias e DSLs na Geração de Sistemas de
Apoio à Decisão, caso de estudo SustenAgro /
John Freddy Garavito S.; orientador Dilvan de
Abreu Moreira. - São Carlos, 2017.
131 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Ciências de Computação e Matemática
Computacional) -- Instituto de Ciências Matemáticas
e de Computação, Universidade de São Paulo, 2017.

1. SAD. 2. Web Semântica e DSLs. 3. Framework
Decisioner. 4. SustenAgro. 5. SAD SustenAgro
6. Avaliação. I. Moreira, Dilvan de Abreu , orient.

*A meus pais, Salustriano e Dioselina pelo
amor compartilhado.*

Agradecimentos.

Agradeço a Deus pela vida,

A meus pais pelo excelente exemplo de vida e apoio,

A meu orientador Prof. Dr. Dilvan por me permitir ser orientando dele,
por compartilhar a sabedoria, conhecimento, tempo, conversas e risadas,
e especialmente pela paciência e apoio realizado durante,
cada uma das etapas do mestrado.

A Mayra Bonfim pela agradável companhia, ótimos conselhos e apoio
incondicional, que me permitiram crescer como pessoa e como
profissional.

A meus colegas do laboratório Intermídia
pelo exemplo de perseverança.

A USP pelo ensino.

Resumo

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) integram conhecimento dos especialistas do domínio em cada um dos componentes deles: nos dados e modelos, nas operações matemáticas que processam esses dados e nas informações resultantes que suportam o processo de decisão. Nas metodologias de desenvolvimento tradicionais, este conhecimento deve-se interpretar e implementar pelos desenvolvedores de software, devido a que os especialistas não conseguem formalizar esse conhecimento em um modelo computável para integrá-lo nos SADs. O processo de modelagem de conhecimento é realizado pelos desenvolvedores, parcializando o conhecimento do domínio e dificultando o desenvolvimento ágil dos SADs. Dada está situação, identificou-se que não existe uma representação de conhecimento computável que permita definir SADs, que tenha um formato entendível e acessível pelos especialistas do domínio e pelas computadoras. A partir desse problema, foram testadas soluções, e encontrou-se que as ontologias baseadas na web semântica representam conhecimento complexo e fornecem um formato entendível pelos humanos e máquinas. O método Decisioner que permite aos especialistas representar o conhecimento deles por meio de ontologias e Domain Specific Language (DSL), para permitir a definição e geração de SADs. O Framework Decisioner, implementar este método, fornecendo interfaces web de edição da ontologia e da DSL para definir e gerar os SADs em entornos web. Para validar dito método, o Framework Decisioner foi instanciado com uma ontologia de avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil e com uma descrição na DSL dos componentes do SAD, permitiu a geração o SAD SustenAgro. Finalmente foram realizadas avaliações no Framework Decisioner e no SAD SustenAgro para validar o correto funcionamento deles.

Palavras Chave: *Framework Decisioner, SAD, SustenAgro, Ontologias, Web Semântica, DSL, Conhecimento Computável.*

Abstract

Decision Support Systems (DSS) integrate knowledge from Domain Experts in each of their components: in data and models, in mathematical operations that processes this data and in the resulting information that supports the decision-making process. In traditional development methodologies, this knowledge must be interpreted and implemented by software developers, because the specialist can not formalize this knowledge in a computable model to integrate it into the DSS. The knowledge modeling process is carried out by the developers, biasing domain knowledge and hindering the agile development of DSSs. Given this situation, it was identified that there is no computable knowledge representation that allows define DSSs, that has a format understandable and accessible by the domain experts and the computers. From that problem, were tested and found solutions based on semantic web ontologies represent complex knowledge and provide a format understandable by human and machines. Decisioner method allowing experts represent their knowledge by means of ontologies and Domain Specific Languages (DSL), to allow the definition and generation of SADs. Decisioner Framework implement this method by providing web ontology edition interfaces and DSL to define and generate the SADs in web environments. To validate such method, Decisioner Framework was instantiated with an ontology of sustainability assessment in sugarcane in the center-south of Brazil and by means of a description in the DSL of the components of SAD, it allowed the generation the DSS SustenAgro. Evaluations were carried out in the Framework Decisioner and in the DSS SustenAgro to validate the proper operation of them.

Keywords: *Decisioner Framework, DSS, SustenAgro, Ontologies, Semantic Web, DSL, computable knowledge*

Lista de ilustrações

Figura 1 – Componentes de um SAD.	29
Figura 2 – SustenAgro arquitetura inicial.	31
Figura 3 – História da Web Semântica	38
Figura 4 – Arquitetura em camadas da Web Semântica	39
Figura 5 – Smart data continuum: níveis de representação de dados na forma de conhecimento processável por máquinas.	41
Figura 6 – OWL2 Profiles.	43
Figura 7 – Componente DSL	49
Figura 8 – Arquitetura do Decisioner	52
Figura 9 – Metodologia de desenvolvimento do Decisioner	55
Figura 10 – Modelagem abstrata do SAD	55
Figura 11 – Editor de ontologia	57
Figura 12 – Widgets geradas a partir da definição da DSL	59
Figura 13 – Editor DSL	62
Figura 14 – Web UI com web components	64
Figura 15 – Arquitetura do DSL Interpreter.	65
Figura 16 – Metodologia de definição da ontologia SustenAgro.	69
Figura 17 – Mapa conceitual da ontologia SustenAgro.	71
Figura 18 – Modelagem da classe de unidade produtiva (ProductionUnity).	73
Figura 19 – Modelagem de microrregiões.	74
Figura 20 – Modelagem de indicador	75
Figura 21 – Mapa conceitual - Dimensão Ambiental.	76
Figura 22 – Mapa conceitual - Dimensão Social.	77
Figura 23 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica (primeira parte).	79
Figura 24 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica (segunda parte).	80
Figura 25 – Mapa conceitual - Método de Avaliação.	81
Figura 26 – Modelagem de Value	82
Figura 27 – StoryBoard definição da localização.	88
Figura 28 – StoryBoard seleção da unidade produtiva.	89
Figura 29 – StoryBoard mostrando o preenchimento dos indicadores.	89

Figura 30 – StoryBoard sobre a avaliação de unidade produtiva	89
Figura 31 – StoryBoard para cadastro de novo indicador.	90
Figura 32 – StoryBoard mostrando a apresentação de resultados	90
Figura 33 – Mockup da tela inicial do SustenAgro.	91
Figura 34 – Mockup da tela de indicadores do SustenAgro.	92
Figura 35 – Protótipo do SustenAgro – Home Page.	93
Figura 36 – Cadastro de indicadores	94
Figura 37 – Planilhas do resultado da avaliação	95
Figura 38 – Matriz de sustentabilidade	97
Figura 39 – Semáforo de sustentabilidade	98
Figura 40 – Matriz de Sustentabilidade com valores mínimos.	106
Figura 41 – Dimensões da sustentabilidade	127
Figura 42 – Descrição geral do projeto SustenAgro	130
Figura 43 – Descrição específica do projeto SustenAgro	131
Figura 44 – Matriz de sustentabilidade	133

Lista De Códigos-Fonte

4.1	Definição do Evaluation Object	58
4.2	Definição de Features	60
4.3	Definição da lógica de avaliação.	60
4.4	Definição dos componentes visuais do relatório.	61
5.1	SustenAgro DSL	100
D.1	Código de novo indicador	149
D.2	Adição de feature na DSL	150

Lista de tabelas

Tabela 2 – Avaliação do SAD SustenAgro	110
Tabela 3 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão ambiental	139
Tabela 4 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão social	139
Tabela 5 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão econômica	140

Lista De Abreviaturas e Siglas

AGROVOC Agricultural vocabulary

APTA Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

CEPAL Economic Commission for Latin America and the Caribbean

CSS Cascading Style Sheets

DSL Domain Specific Language

GMP Genetically Modified Plants

HTML HyperText Markup Language

ICMC Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

KOS Knowledge Organization System

LOD Linked Open Data

PDF Portable Document Format

PNUMA Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RDF Resource Description Framework

SAD Sistemas de Apoio à Decisão

Sparql SPARQL Protocol and RDF Query Language

UI User Interface

UML Unified Modeling Language

URI Uniform Resource Identifier

W3C World Wide Web Consortium

WAR Web Application Archive

YAML YAML Ain't Markup Language

Sumário

Lista de ilustrações	11
Lista de tabelas	14
Sumário	17
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Motivação	22
1.2 Objetivo	23
1.3 Resultados Principais	24
1.4 Organização da dissertação.	24
2 SAD	27
2.1 Definição de SAD	27
2.2 Arquitetura para Sistemas de Apoio à Decisão	28
2.3 SAD SustenAgro	30
2.4 Trabalhos relacionados	33
2.5 Considerações finais	35
3 WEB SEMÂNTICA E DSLS	37
3.1 Web Semântica.	37
3.2 Domain Specific Language (DSL)	46
3.3 Considerações finais	49
4 FRAMEWORK DECISIONER	51
4.1 Arquitetura do Decisioner	51
4.2 Metodologia	53
4.3 Ontologia Decisioner	54
4.4 Ontology Editor	56
4.5 Decisioner DSL	58
4.6 DSL Editor	61

4.7	Web components	62
4.8	Web UI	63
4.9	DSL Interpreter	64
4.10	Considerações finais	65
5	SAD SUSTENAGRO	67
5.1	Arquitetura do SustenAgro	67
5.2	Metodologia	68
5.3	Ontologia de domínio: SustenAgro	70
5.4	SustenAgro Web UI	82
5.5	Web Components	95
5.6	DSL: code	98
5.6.1	<i>Definir o Objeto da Avaliação</i>	98
5.6.2	<i>Definir as características a serem avaliadas</i>	99
5.6.3	<i>Definir o modelamento e a forma de apresentação dos resultados</i>	100
5.7	Considerações Finais	101
6	AVALIAÇÃO	103
6.1	Avaliação das Web UI	103
6.2	Avaliação da ontologia de domínio de avaliação da sustentabilidade ..	104
6.3	Avaliação do protótipo funcional com dados	105
6.4	Avaliação do SAD SustenAgro e do Framework Decisioner:	107
6.5	Workshop: validação do software SustenAgro v1.0 com equipe de especialistas	110
6.6	Avaliação de SAD SustenAgro nos servidores da Embrapa	112
6.7	Conclusões	112
7	CONCLUSÕES	113
7.1	Resultados	114
7.2	Dificuldades	115
7.3	Trabalhos futuros	116
	REFERÊNCIAS	119
A	MÉTODO SUSTENAGRO DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	125
A.1	Sustentabilidade	125
A.2	Dimensões da Sustentabilidade	126

A.3	Critérios de sustentabilidade	128
A.4	Atributos Norteadores	128
A.5	Método SustenAgro	129
A.6	Matriz de sustentabilidade	132
A.7	Conclusões	132
B	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	135
B.1	Índice de Sustentabilidade	135
B.2	Limiares de Sustentabilidade	135
B.3	Indicadores de Sustentabilidade	137
B.4	Dados fornecidos pela Unidade de Meio Ambiente da Embrapa	139
B.5	Considerações finais	141
C	INSTALAÇÃO	143
C.1	Configuração do servidor.	143
C.2	Deploy do arquivo WAR	145
D	FORMULÁRIOS DE AVALIAÇÃO	147
D.1	Formulário de avaliação SustenAgro	147
D.2	Formulário de avaliação Decisioner	149
D.3	Formulário Delphi para Workshop SustenAgro	151

Introdução

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) organizam e processam os dados e informações para gerar resultados de valor que apoiam e melhorem a tomada de decisão em um área de conhecimento, também denominada como domínio específico (TURBAN; ARONSON; LIANG, 2004). Os SADs integram conhecimento desenvolvido pelos especialistas do domínio que fica implícito nos dados, informações e processos usados (POWER, 2000). Tal conhecimento, específico de um domínio, não é familiar para desenvolvedores de software. Eles têm que usar técnicas diversas para o levantamento de requisitos para entender o domínio dos especialistas e assim implementar o sistema software corretamente (GAVRILOVA; ANDREEVA, 2012). Quanto mais especializado for o domínio dos especialistas, mais esforço adicional será necessário aos desenvolvedores do sistema, o que leva a ampliação do tempo e custo de desenvolvimento.

Adicionalmente, os especialistas do domínio, em geral, não tem conhecimento suficiente em matéria de desenvolvimento de sistemas de software para realizar o dito processo por eles mesmos. Além disso, os dois domínios, tanto dos especialistas de domínio como dos desenvolvedores de software, são tão amplos que precisam de perfis particulares para realizar os processos corretamente (ROUSSEY et al., 2010). Dentro deste contexto, foi identificado o problema da inexistência de um meio de representação de conhecimento para definir SADs, que tenha um formato computável, entendível e acessível pelos especialistas do domínio.

Como exemplo do problema anterior, podemos expor o caso dos especialistas em sustentabilidade da Embrapa Meio Ambiente, que desenvolveram o projeto SustenAgro (capítulo A). Nesse projeto, foi desenvolvido um método de avaliação de sustentabilidade no sistema produtivo da cana-de-açúcar do centro-sul do Brasil (CARDOSO, 2013). Tais especialistas precisavam implementar um SAD para disponibilizar o método SustenAgro à comunidade interessada em realizar avaliações de sustentabilidade em cana-de-açúcar. Nesse caso, foi identificado que

eles possuíam o conhecimento do domínio de avaliação de sustentabilidade da cana-de-açúcar, mas não tinham um meio para definir esse conhecimento de maneira computável em um SAD.

1.1 Motivação

A pesquisa em representação e organização de conhecimento tem alto impacto devido ao fato de fornecer métodos e ferramentas para entender e gerenciar o conhecimento em diversos domínios ([TUDHOPE; NIELSEN, 2006](#)). Especificamente nos SADs, ela pode fornecer meios de integração de conhecimento que aumentam as funcionalidades e a eficiência desses sistemas, inclusive trazendo vantagens no processo de desenvolvimento dos SAD ([SAXENA, 1991](#)).

A análise do projeto SustenAgro permitiu identificar as seguintes motivações relacionadas com a integração de conhecimento dos especialistas de domínio:

A primeira delas é a necessidade de um método e ferramenta para que os especialistas do domínio definam o conhecimento nos SADs, principalmente as características particulares que requerem profundo conhecimento. Isso permite a participação deles como descriptores de conhecimento específico fornecendo, aos desenvolvedores de software, tempo adicional para dedicar-se aos assuntos próprios da computação e assim agilizar o processo de desenvolvimento de SADs. Essa abordagem facilita a definição de SADs com menos intervenção por parte dos não especialistas do domínio, fazendo que a definição do conhecimento fique em termos conhecidos pelos especialistas e seja gerenciada por eles mesmos.

A segunda refere-se a fornecer meios computáveis de representação desse conhecimento, que facilitem a comunicação entre os especialistas do domínio e os desenvolvedores de software e que adaptem-se às mudanças do domínio. Domínios de conhecimento estão em continua mudança, como é o caso do domínio avaliação da sustentabilidade da cultura de cana-de-açúcar([CARDOSO, 2013](#)).

A terceira é o impacto que gera o correto uso dos SAD([LEE; WAGNER; SHIN, 2008](#)). O desenvolvimento do SAD SustenAgro, em cooperação com a Embrapa Meio Ambiente, poderia gerar impacto positivo na produção agrícola, já que ele fornece a funcionalidade de avaliar a sustentabilidade na cana-de-açúcar. Este SAD em particular é uma contribuição inédita que também permite a aplicação em outros sistemas agrícolas, o que poderia suportar melhorias e correções na produção de alimentos e produtos neste setor ([MATTHEWS et al., 2008](#)).

Para definir um meio computável de representação de conhecimento, foram analisados vários tipos de sistemas de organização de conhecimento ou Knowledge Organization System (KOS). Um dos KOS mais completos são as ontologias porque permitem definir, classificar, relacionar e inferir conhecimento. Por este motivo as ontologias foram selecionadas para

representar a modelagem do domínio dos especialistas.

Numa parceria com a Embrapa Meio Ambiente, foi desenvolvida uma ontologia de avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar junto com os especialistas desta instituição. Nas áreas de biologia e agricultura as ontologias são comuns, desta forma eles não tiveram dificuldade com o conceito. Eles usaram uma Domain Specific Language (DSL) ([FOWLER, 2010](#)) que permite formatar as perguntas aos usuários finais, definir o método de avaliação e gerar o relatório de cada análise. Os especialistas apreciaram muito a utilização de uma ontologia em um SAD, foi a primeira vez que fizeram isso, e particularmente, o fato de que as mudanças na ontologia, façam mudanças imediatamente nos componentes do SAD.

Além das motivações vinculadas com o domínio dos especialistas em sustentabilidade existe a motivação de desenvolver novas tecnologias. Uma contribuição tecnologia neste sentido na pesquisa foi o Framework Decisioner composto por ontologias e DSLs, cujo propósito é facilitar a implementação de SADs, sendo este framework instanciado para produzir o SAD SustenAgro.

1.2 Objetivo

Desenvolver um método e ferramenta web, baseados em ontologias, que permitam representar o conhecimento de especialistas do domínio para suportar a definição de SADs.

Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo proposto, foi necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver uma ontologia sobre avaliação da sustentabilidade nos sistemas produtivos de cana-de-açúcar do centro-sul do Brasil.
- Desenvolver uma DSL que permita a definição da interface de usuário, das formulas do modelo, usado pelos especialistas, e do formato do relatório final de cada análise.
- Definir a arquitetura e o código da ferramenta Decisioner para gerar SADs baseados em conhecimento de domínios específicos. Os SADs gerados usam uma ontologia, desenvolvida por especialistas do domínio e uma DSL, para gerar as interfaces e funcionalidades do sistema.
- Demonstrar que o método e ferramenta Decisioner permitem a criação de SADs funcionais que podem ser modificados por especialistas de domínio. Esses especialistas devem

definir a ontologia e modificar o comportamento do sistema com pouca ou nenhuma intervenção de desenvolvedores.

1.3 Resultados Principais

As principais contribuições da pesquisa foram:

- Ontologia SustenAgro sobre avaliação de sustentabilidade em cana-de-açúcar, representando os principais conceitos desse domínio: indicadores, índices e métodos de avaliação. Ela foi desenvolvida em parceria com os especialistas de domínio de sustentabilidade da Embrapa.
- Ontologia sobre controles visuais para suportar a geração automática das interfaces gráficas do SAD SustenAgro. Ela permite associar tipos de dados aos web components que constituem as interfaces dos SADs.
- Uma DSL baseada na linguagem Groovy que permite a definição da interface de usuário, do formato do dados a processar, das fórmulas do modelo e do formato do relatório final de cada análise.
- Método e framework Decisioner para definir SADs por parte dos especialistas do domínio, desenvolvido a través do framework Grails.
- O SAD SustenAgro: Sistema para avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar, na região centro-sul do Brasil, instanciada a través do Framework Decisioner.
- Artigo “Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Method” submetido no periódico da Elsevier “Energy for sustainable Development” ISSN: 0973-0826.
- Artigo “SustenAgro Sistema de Apoio à Decisão baseado em Ontologias e definido por uma Linguagem de Domínio Específico” submetido no periódico “Revista Brasileira de Sistemas de Informação” ISSN Eletrônico: 1984-2902.
- Resultados positivos das avaliações do Framework Decisioner, do método de geração de SADs e do Sistema SustenAgro.

1.4 Organização da dissertação.

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma:

Capítulo 2: Apresenta a definição de Sistemas de Apoio à Decisão, as características do SAD SustenAgro e os trabalhos relacionados, basicamente um estado da arte da presente pesquisa.

Capítulo 3: Apresenta as Ontologias da web semântica e DSLs, com a finalidade de descrever as principais tecnologias e a teoria necessária para desenvolver a presente pesquisa.

Capítulo 4: Apresenta o protótipo do Framework Decisioner que suporta a geração de Sistemas de Apoio à Decisão.

Capítulo 5: Apresenta o SAD SustenAgro, desenvolvido na presente pesquisa como caso de uso do Framework Decisioner, permitindo desenvolver a arquitetura e demonstrar a funcionalidade do Framework desenvolvido.

Capítulo 6: Apresenta a avaliação realizada pelos especialistas em cada um dos sistemas software desenvolvidos e no método de geração de SAD.

Capítulo 7: Apresenta as conclusões do presente trabalho, dificuldades, trabalhos futuros e uma discussão sobre a pesquisa em geral.

Finalmente são apresentados os anexos que descrevem conceitos de terceiros usados no trabalho e informações técnicas dos sistemas desenvolvidos.

A construção de sistemas que sejam capazes de fornecer suporte ao gestor em um processo de tomada de decisões tem sido um desafio ao longo dos anos.

Principalmente pelas dificuldades relacionadas com a modelagem e entendimento do conhecimento do domínio. Os especialistas de domínio e os desenvolvedores, têm *Backgrounds* diferentes, que fazem do processo de modelagem um processo lento e custoso, dificultando o processo de desenvolvimento e testes de um SAD. Por esta razão foram pesquisados modelos que facilitem o entendimento entre os dois tipos de profissionais e desenvolvida uma pesquisa ao redor deste tópico.

A continuação será explicado a definição e arquitetura de SAD, o SAD SustenAgro e os trabalhos relacionados.

2.1 Definição de SAD

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) são uma área de conhecimento ampla e em continua evolução. A definição de SAD deriva da definição de sistema, pois eles contêm um conjunto de partes organizadas para um propósito comum, existem múltiplas definições do termo SAD, a continuação serão apresentadas algumas definições que permitem explicar o propósito deste tipo de sistemas.

[Tweedale, Phillips-Wren e Jain \(2016\)](#) define os SADs como sistemas software que visam melhorar a tomada de decisão individual ou grupal, combinando o conhecimento do(s) tomador(es) de decisão com dados relevantes de fontes confiáveis, nos quais são aplicados métodos e modelos matemáticos para suportar a análise, comparação e escolha de alternativas no processo de decisão.

[Heinzle, Gauthier e Fialho \(2010\)](#) define que os SADs apoiam o entendimento de processos complexos, auxiliam na comparação dos fenômenos envolvidos e suportam a análise e escolha de alternativas no processo de decisão. Este entendimento do domínio surge da combinação das habilidades e metodologias dos especialistas (humanos) à capacidade dos computadores de acessar dados, estruturá-los em modelos, interpretar, formular e avaliar alternativas e cenários distintos.

O conhecimento dos especialistas do domínio está implícito nos SADs. [Evans \(2003\)](#) explica que existe uma necessidade de modelar o conhecimento chave de um domínio em um modelo, para permitir a comunicação e colaboração entre especialistas de domínio e os desenvolvedores, pelo qual o modelo de conhecimento dos especialistas será objeto da pesquisa.

A continuação será apresentada a arquitetura dos SAD e a importância dos modelos de conhecimento existentes dentro um SAD.

2.2 Arquitetura para Sistemas de Apoio à Decisão

A arquitetura de um software define a organização dele em termos de componentes, de interconexões, e das interações com sistemas externos ([JONG, 1997](#)). A arquitetura fornece as informações de como os componentes dela se relacionam, explicando a parte externa das ligações entre seus elementos, sendo que as implementações internas não são consideradas parte da arquitetura ([SEI, 2006](#)).

Estas partes são descritas por meio da arquitetura representada na figura 1, representando o processo realizado pelos SADs, no qual recebem uma entrada, fazem o processamento dela e retorna resultados que são analisadas pelo tomador(es) de decisão a través da tecnologia computacional ([TWEEDALE; PHILLIPS-WREN; JAIN, 2016](#)).

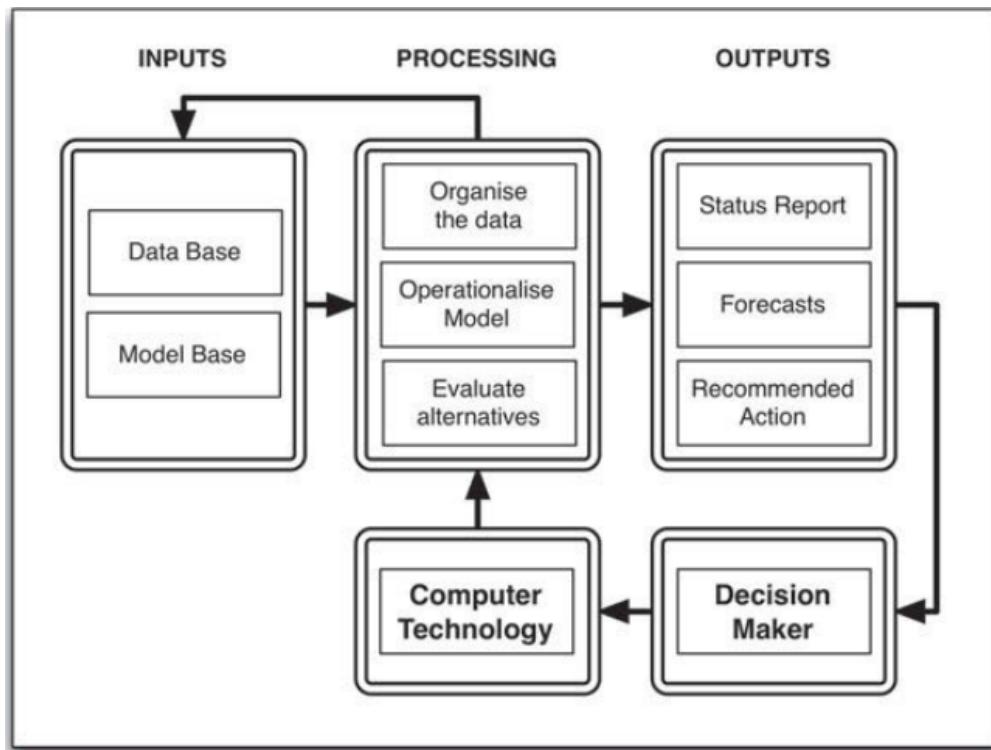


Figura 1 – Componentes de um SAD.

Fonte: Adaptada de [Tweedale, Phillips-Wren e Jain \(2016\)](#).

A Figura 1 mostra os componentes de um SAD, que são:

Inputs corresponde às entradas do sistema, composta dos dados que serão processados e dos modelos de conhecimento dos especialistas. Os dados estão armazenados em bancos de dados e os modelos pelo geral estão implícitos no SAD ou podem estar em uma base de conhecimento. Esses dois componentes devem ser o mais precisos e completos possíveis para garantir respostas confiáveis do sistema.

Processing está composto pelos modelos e métodos de organização e processamento dos dados, que tem restrições para avaliar as alternativas de resposta. Os métodos podem ser de tipo matemáticos, que processam os dados e geram os resultados do sistema.

Outputs são os resultados do processamento dos inputs e permitem comparar as alternativas de decisão. As saídas comuns são relatórios, previsões e recomendações, que são apresentados por meio de uma interface de usuário para facilitar o entendimento e interação por parte dos usuários.

Durante a evolução dos SAD, várias melhorias aconteceram, entre elas o desenvolvimento da Web permitiu integrar novas técnicas no processamento dos dados, tecnologias na representação visual de resultados e no uso colaborativo por parte dos usuários (SHIM et al., 2002). Também existe a tendência da integração com métodos de inteligência artificial, para estender a aplicabilidade dos SAD a problemas complexos.

Uma variação dos SADs integra bases de conhecimento que suportam inferência, permitindo o desenvolvimento de Expert Systems e Knowledge Based Systems. Esses sistemas são classificados como Rule Based Systems (TWEEDALE; PHILLIPS-WREN; JAIN, 2016), os quais estabelecem o escopo desta pesquisa.

Um tipo de SAD que usa bases de conhecimento, são os que usam ontologias para representar o conhecimento dos especialistas, permitindo definir, classificar, relacionar e inferir conhecimento.

A continuação será apresentado o SAD SustenAgro baseado em conhecimento, que suporta a avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar a través do uso de ontologias.

2.3 SAD SustenAgro

Um domínio de conhecimento caracterizado pela sua complexidade são os sistemas produtivos agrícolas. Eles envolvem fenômenos de natureza diversa (SIMON, 1991), integrando aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Particularmente, o setor produtivo produtivo da cana-de-açúcar é extremamente importante para a economia do estado de São Paulo e do Brasil, devido ao fato de ser uma das principais culturas produzidas no país (TORQUATO, 2015). Atualmente a cana-de-açúcar é a mais importante fonte de energia renovável no Brasil (SEABRA et al., 2011), permitindo a produção de etanol e energia eléctrica, além de ter mais de 20 subprodutos, entre eles açúcar, etanol, bioeletricidade, bioplásticos e Hidrocarbonetos¹.

A produção da cana-de-açúcar e dos subprodutos dela, influem em aspectos ambientais consumindo recursos naturais, em aspectos sociais envolvendo pessoas na produção e em aspectos econômicos na comercialização. Esses aspectos fazem complexo manter a produtividade atualmente e no futuro. Por essas razões, a Embrapa Meio Ambiente escolheu especificamente o sistema produtivo da cultura de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil, como sistema piloto para desenvolver métodos e software de avaliação da sustentabilidade (apêndice A).

Dada a complexidade da análise da sustentabilidade em sistemas de produção agrícola, os pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente trabalharam na definição de métodos que

¹ <http://sugarcane.org/sugarcane-products>

permitissem avaliar a sustentabilidade de maneira integral (SINGH et al., 2012). Por essa razão, desenvolveram um método que aborda a avaliação em termos de indicadores, simplificando a complexidade deste sistema agrícola. Cada indicador mede um determinado aspecto crítico no sistema produtivo, para determinar o quanto sustentável ele é. A partir da análise de cada indicador, é possível gerar recomendações de medidas corretivas para as unidades produtivas ou para o embasamento de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade. A definição conceitual do processo de avaliação está detalhada no apêndice A.

A partir do método de avaliação SustenAgro, foi desenvolvida uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade intitulada SAD SustenAgro que implementa o método SustenAgro por meio de um sistema de apoio a decisão e que consegue adaptar-se às mudanças do domínio.

O SAD SustenAgro suporta a avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil. A figura 2 apresenta a arquitetura inicial do SAD SustenAgro, a qual corresponde a um sistema de informação tradicional, que requer a intervenção de desenvolvedores de software, para definir ou atualizar o conhecimento dos especialistas implícito no SAD.

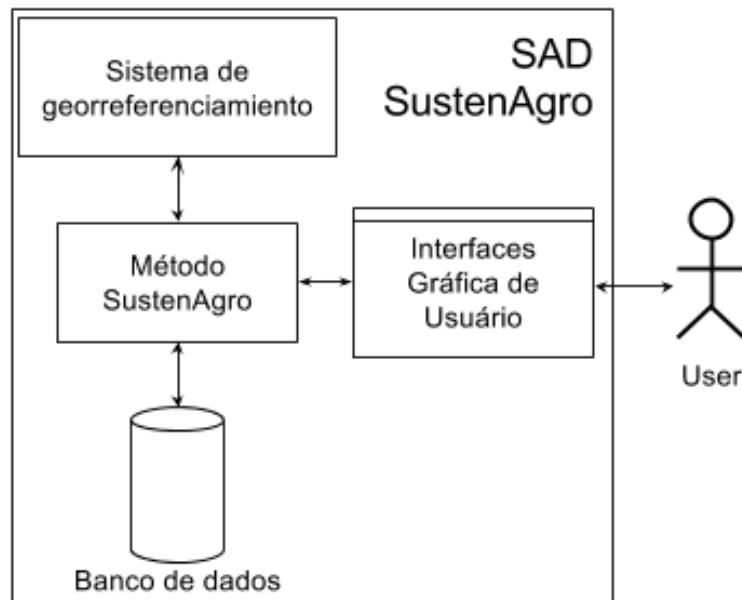


Figura 2 – SustenAgro arquitetura inicial.

Os especialistas em sustentabilidade definiram o SAD SustenAgro com as seguintes características:

- Sistema web com banco de dados para armazenar e recuperar as informações do sistema.
- Integração e implementação do método SustenAgro de avaliação de sustentabilidade, descrito no apêndice A

- Flexibilidade para adaptar o método SustenAgro a outras culturas.
- Integração com sistemas de georreferenciamento.
- Desenvolvimento de widgets específicas² para mostrar resultados obtidos: Sustainability Matrix e Sustainability Semaphore, explicadas no capítulo 5
- Geração de relatórios e de recomendações de sustentabilidade.

Um dos problemas identificados foi que os especialistas não tinham uma definição clara do SAD SustenAgro. Pelo que foi necessário realizar um levantamento de requisitos, descrito no capítulo 5, para definir os requisitos funcionais (essenciais) e não funcionais (desejáveis). Além disso, foi necessário reestruturar o desenvolvimento do SAD SustenAgro para que fizesse parte do processo de pesquisa.

O SAD SustenAgro faz parte de um conjunto de ferramentas de avaliação definidas pela Embrapa Meio Ambiente. A partir da análise das ferramentas similares ao SAD SustenAgro, foi evidenciada a necessidade de fornecer métodos e ferramentas computacionais que organizem a informação. Para apoiar aos especialistas a tomar decisões baseadas em conhecimento, permitindo simplificar a resolução de problemas que de outra maneira não seriam triviais.

Exatamente foi identificado que ditos sistemas tinham em comum um método de avaliação que processava de maneira matemática um conjunto de dados e gerava relatórios com resultados da avaliação, gráficos e recomendações. As ferramentas analisadas foram:

1. Sistema Innova-Tec: avaliação do impacto da inovação tecnológica³.
2. Sistema Nano-Tec: avaliação do impacto das nanotecnologias⁴.
3. Sistema GMP-RAM v.1.1: avaliação de Risco de Plantas Geneticamente Modificadas (GMP)⁵
4. Software para avaliação de segurança e impactos de plantas geneticamente modificadas⁶
5. Sistema Atlantis: Sistema para levantamento e sistematização da informação técnica em temas de pesquisa, tecnologias e inovação.⁷

² Widgets refere-se à componentes visuais dos sistemas web

³ <http://www.cnpma.embrapa.br/forms/inova_tec.php3>

⁴ <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/951543/metodologia-para-avaliacao-de-impactos-das-nanote>>

⁵ <http://www.cnpma.embrapa.br/forms/gmp_ram.php3>

⁶ <<http://www.cnpma.embrapa.br/nova/mostra2.php3?id=857>>

⁷ <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-produtos-processos-e-servicos/-/produto-servico/2102/atlantis---atlantis>>

Uma característica importante em ditos sistemas foi a existência de conceitos de domínio específico na organização dos dados de entrada dos SAD e no método de avaliação. Esta característica permite identificar que cada um dos sistemas requiriu um processo de modelagem dos conceitos do domínio por parte dos desenvolvedores.

Principalmente identificou-se que a implementação desse conhecimento gerava dificuldades de compreensão entre os especialistas do domínio e os desenvolvedores de software por serem de áreas diferentes. [Evans \(2003\)](#), propõe que este conhecimento deve ser representado em um modelo independente.

Baseando-se no anterior, afirmou-se a hipótese de usar um modelo para representar dito conhecimento. E baseando-se no problema de pesquisa, as ontologias foram selecionadas como o modelo mais completo para representar o conhecimento do domínio dos especialistas na definição de SAD, e evitar que o conhecimento ficara implícito como aconteceu nos SAD listados.

O uso de uma ontologia permitirá representar e estruturar o conhecimento de avaliação da sustentabilidade em agricultura, a través da definição e atualização de conceitos por parte dos especialistas, permitindo que eles mesmos descrevam o domínio sem precisar dos desenvolvedores. Os especialistas do domínio tem familiaridade com os termos da ontologia e poderão especificar grande parte do conhecimento envolvido no SAD. Idealmente, essa definição deve ser detalhada o suficiente para que os desenvolvedores possam desenvolver a parte computacional do SAD sem necessidade de feedback dos especialistas.

Esta representação de conhecimento pode ser mais exata da realidade do que outros modelos, devido a que está em um formato voltado a descrição de conhecimento, sobre o qual é possível fazer inferências e assim gerar informações para suportar a decisão. A partir dessa definição computável será gerado o SAD SustenAgro.

Devido a este contexto, o SAD SustenAgro foi escolhido como projeto piloto para desenvolver a presente pesquisa, porque permite o desenvolvimento de um SAD baseado em conhecimento e que permite explorar alternativas na definição e geração dos SAD.

2.4 Trabalhos relacionados

Com a finalidade de relacionar pesquisas sobre o tema que forneciam ideias e exemplos para abordar o problema, realizou-se uma consulta na literatura por SADs que usassem ontologias do domínio dos especialistas, e SADs semelhantes ao SustenAgro. Foi feita uma pesquisa bibliográfica utilizando fontes de informação acadêmica.

Sobre o uso de ontologias em domínios similares ao SustenAgro:

O vocabulário *Agricultural Vocabulary (AGROVOC)*⁸ que é um *thesaurus* (sistema de referência de termos) fornece termos padronizados sobre alimentação, nutrição, agricultura, pesca, floresta e meio ambiente criados de maneira colaborativa e coordenados pela *Food and Agricultural Organization*⁹ (FAO).

Esses termos podem ser reutilizados em ontologias (LIANG et al., 2006), permitindo uma padronização com os identificadores dos conceitos, reutilizando informações e integrando os conceitos com outros dados da Linked Open Data (LOD)

Kraines e Guo (2011) desenvolveram uma ferramenta com o objetivo de criar um sistema de compartilhamento de conhecimento (*Knowledge Sharing System*), para a ciência da sustentabilidade, por meio de um processo de modelagem semântica. Uma ontologia, fundamentada em lógica descritiva, foi desenvolvida por meio do modelo de dados ISO 15926 para descrever três tipos de conceitualizações de ciência sustentável: conhecimento situacional, métodos analíticos e frameworks de cenários. Os conhecimentos dos especialistas podem ser descritos por meio de afirmações semânticas (*semantic statements*). Utilizando a ontologia, foram usados o *matching* semântico, baseado em lógica, e inferência, baseada em regras, para quantificar a sobreposição conceitual das afirmações semânticas.

Cada uma dessas pesquisas fornece um exemplo do uso de ontologias na criação de soluções baseadas em conhecimento. Isto foi confirmado por (ROUSSEY et al., 2010) que afirma que o uso de ontologias têm sido realizado em várias aplicações relacionadas a agricultura. Dadas as afirmações dessas pesquisas, pode-se concluir que uma ontologia pode proporcionar o suporte na representação e organização de conhecimento necessário para cumprir os requisitos do sistema SustenAgro.

Sobre a busca de SADs semelhantes ao SustenAgro, encontrou-se:

Uma estratégia para abordar a complexidade em SADs é a utilização de métodos e metodologias de avaliação que utilizam indicadores, um exemplo desse enfoque é a pesquisa de Olsson et al. (2009). Nela foi desenvolvido um *framework* de indicadores que relaciona, de uma maneira consistente, as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável. Seu principal benefício é uma relativa simplicidade na apresentação da informação e a possibilidade de vincular novos indicadores.

Ewert et al. (2009) apresentam várias estratégias para abordar a complexidade nos sistemas agrícolas. Eles começam relacionando a agricultura com os sistemas socioeconômicos e naturais e enfrentam o problema de gerir suas múltiplas funções, de uma maneira sustentável.

Existem pesquisas que abordam a sustentabilidade através de ferramentas tecnológicas, as quais podem servir de referência ao sistema SustenAgro. Uma delas foi desenvolvida por

⁸ Definição do Agrovoc <<http://aims.fao.org/agrovoc>>

⁹ Site da FAO <<http://www.fao.org/home/en/>>

(BRILHANTE et al., 2006) e consiste em um *framework* (MOeMA-IS) para análise de aspectos de sustentabilidade do estado do Amazonas. Ele usa uma ontologia para descrição de indicadores de sustentabilidade (ISD-Economics Ontology). Foram utilizados indicadores classificados em humanos (Social), suporte (Econômico) e naturais (Ambiental), que foram subdivididos em sete indicadores. Seu desenvolvimento foi feito de uma maneira genérica de forma que ela suporta a inclusão de novos indicadores de forma simples.

2.5 Considerações finais

O desenvolvimento do SAD SustenAgro, permite avaliar se as ontologias fornecem o suporte de representação de conhecimento para definir o conhecimento do domínio e testar novas possibilidades na definição e geração de SAD baseados em conhecimento.

Desta forma tentar solucionar o problema da inexistência de uma representação de conhecimento para definir SADs, que tenha um formato computável, entendível e acessível aos especialistas do domínio e desenvolvedores de software.

Web Semântica e DSLs

Ontologias da web semântica e DSLs têm um papel fundamental na criação de um meio de descrição de conhecimento por parte dos especialistas e no design de um framework para criação de SADs.

Ontologias servem para representar o conhecimento de especialistas do domínio e DSLs servem para customizar o comportamento dos SADs. Estas apareceram originalmente no contexto da filosofia, onde se referem ao estudo da natureza, existência e realidade dos entes. Elas são usadas em vários campos do conhecimento. Neste projeto, ontologias referem-se a representações de conhecimento, que precisam ser implementadas em código. As implementações de software podem trabalhar com ontologias da Web Semântica que fornecem a criação, armazenamento, busca e modificação de ontologias, seguindo padrões de formatos abertos.

Neste capítulo, vamos apresentar e discutir as ontologias da web semântica e as DSLs. Descrevendo a teoria da Web Semântica: fundamentos, Ontologias, o Resource Description Framework (RDF) e a Web Ontology Language (OWL). Finalmente serão abordadas as Domain Specific Languages (DSLs) que são linguagens que permitem definir um meio de comunicação entre os especialistas e o sistema desenvolvido.

3.1 Web Semântica.

A web foi criada para possibilitar o acesso, intercâmbio e recuperação de informações de maneira rápida e simples, seu crescimento exponencial e caótico fez com que a mesma se tornasse hoje um gigantesco repositório de documentos, o que dificulta a recuperação de informações. Até o momento, não existe nenhuma estratégia abrangente e satisfatória para a organização de documentos por meio de “motores de busca” que seja coerente com uma estrutura

linguística. (SOUZA; ALVARENGA, 2004).

Um exemplo da deficiência da web atual, pode ser identificada na busca realizada pelos sistemas de recuperação de informação, que usam palavras-chave nas buscas, onde apenas a similaridade e o número de ocorrências de certas palavras no conteúdo de documentos são levados em consideração e não a semântica presente naquela informação. ([SOUZA; ALVARENGA, 2004](#)).

A Web Semântica aparece como uma proposta para organizar o conhecimento da internet semanticamente em formatos entendíveis pelos humanos e máquinas (BERNERS-LEE; HENDLER; LASSILA, 2001). Procurando métodos para que as máquinas consigam realizar a interpretação do significado, que é uma habilidade inata dos seres humanos, através da associação dos conceitos que estão no cérebro por meio de estruturas neurais e que não é suportado pelas máquinas tradicionais.

A Web Semântica tem como finalidade estruturar os dados e informações disponíveis na Web, para que tenham significado e sejam computáveis por máquinas. Gerando um ambiente onde agentes de software e usuários possam trabalhar de maneira cooperativa. A Web Semântica é definida por um conjunto de padrões propostos pelo World Wide Web Consortium (W3C). A figura 3 apresenta alguns dos padrões que constituem a Web Semântica de maneira cronológica.

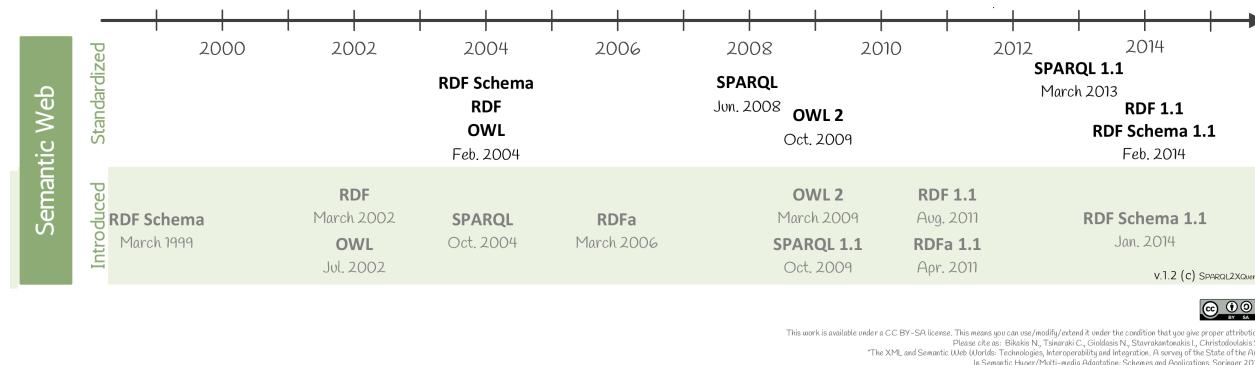


Figura 3 – História da Web Semântica

Fonte: Adaptada de Bikakis et al. (2013).

[Berners-Lee, Hendler e Lassila \(2001\)](#) propuseram a Web Semântica, em 2001, como uma extensão da Web atual, na qual é possível vincular conceitos de maneira estruturada e padronizada. Permitindo a criação de conhecimento estruturado, computável por máquinas, que pode ser compartilhado entre humanos e máquinas. A finalidade é criar uma web universal dos conhecimentos da humanidade.

A partir dessa visão conceitual sobre a Web, Berners-Lee, Hendler e Lassila (2001) propuseram uma arquitetura que organiza as representações do conhecimento por meio de camadas, conhecida como Semantic Web Cake, que é ilustrada na Figura 4.

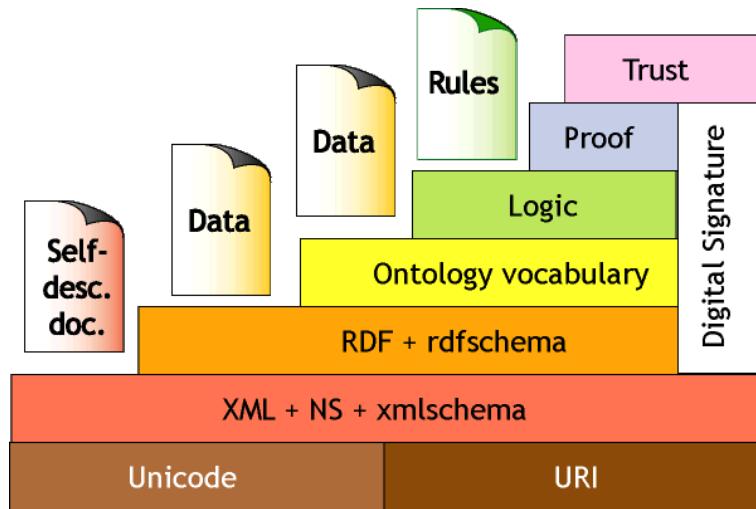


Figura 4 – Arquitetura em camadas da Web Semântica

Fonte: Adaptada de Fensel et al. (2011).

A base dessa arquitetura é estabelecida pelos padrões Unicode e Uniform Resource Identifier (URI), que padronizam a representação dos dados por meio das seguintes camadas:

Unicode é um padrão que codifica os caracteres na maioria dos sistemas de escrita para representação de texto com fines de processamento computacional.

URI permite identificar os recursos disponíveis na Web por meio de uma String única.

XML representa os dados de maneira sintática, através da definição de markups que codificam documentos em formatos preestabelecidos. Ela permite que informações sejam legíveis tanto por humanos como por computadores, suportando as camadas superiores na arquitetura.

RDF é um modelo padrão para intercambiar dados na web. RDF tem características que permitem a integração de dados inclusive de esquemas diferentes, e suporta especialmente a evolução dos esquemas a través do tempo sem requerer que mudanças nos consumidores de dados. A W3C especifica ele¹.

1

<https://www.w3.org/RDF/>

Ontology estende a camada de descrição, fornecendo mais expressividade na definição de conceitos, de classificações, de relações e de inferência.

Logic permite definir regras lógicas para deduzir e inferir novas informações que conseguem mudar a estrutura da ontologia de maneira dinâmica.

Proof fornece mecanismos para avaliar o nível de confiabilidade das fontes de recursos e informações.

Trust representa o conhecimento validado e confiável.

Digital-Signature permite integrar métodos de segurança que garantam a segurança da informação.

Uma das contribuições importantes da Web Semântica foi a formalização da representação de ontologias (próxima sessão). No desenvolvimento desta pesquisa, foram usadas desde as camadas inferiores até o OWL, permitindo definir ontologias que representam os domínios de conhecimento.

Ontologias

Existem várias interpretações do conceito ontologia, dependendo da finalidade para qual elas sejam usadas. [Smith et al. \(2007\)](#) descrevem a ontologia como uma área da filosofia, que estuda a natureza, existência e realidade dos entes, assim como as categorias do ser e das relações semânticas.

Na ciências da computação e informação, a palavra “ontologia” é definida como uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada de um domínio de conhecimento. [Allemang e Hendler \(2011\)](#) definem as ontologias, no contexto da Web Semântica, como um esquema de representação que permite conceitualizar e estruturar conhecimento, permitindo a sua interpretação por computadores, com o objetivo de compartilhar conhecimento entre humanos e computadores.

Uma ontologia é um sistema de organização e representação do conhecimento, do inglês Knowledge Organization System (KOS), que é uma estrutura conceitual e computacional que permite representar o conhecimento, de qualquer domínio, por meio de entidades, classificações, relações semânticas, regras e axiomas. Uma ontologia é especificada por meio de componentes básicos que são as classes, relações, axiomas e instâncias.

Classes são o foco da maioria das ontologias. Elas são utilizadas para descrever os conceitos de um domínio, possibilitando a organização e classificação dos indivíduos em um sistema

lógico e hierárquico, contendo subclasses que representam conceitos específicos (NOY; MCGUINNESS et al., 2001).

Relações representam o tipo de interação entre os conceitos de um domínio e as propriedades presentes nas classes e indivíduos. Elas podem ter características próprias, como serem transitivas, simétricas, ou terem uma cardinalidade definida.

Axiomas são utilizados para modelar regras assumidas como verdadeiras no domínio em questão, de modo que seja possível associar relacionamentos entre os indivíduos, além de fornecer características descritivas e lógicas para os conceitos.

Indivíduos, ou instâncias das classes, são utilizados para representar elementos específicos, ou seja, os próprios dados, que juntamente com a definição de uma ontologia, constituem a base de conhecimento (NOY; MCGUINNESS et al., 2001). Indivíduos representam objetos do domínio de interesse (HORRIDGE; BECHHOFER, 2011).

Segundo Patel-schneider (2005), a representação de uma ontologia é feita por meio de lógica de predicados e lógica descritiva, usando padrões adotados pela comunidade, como RDF e OWL. A Figura 5 mostra os níveis de representação de dados na forma de conhecimento processável por máquinas.

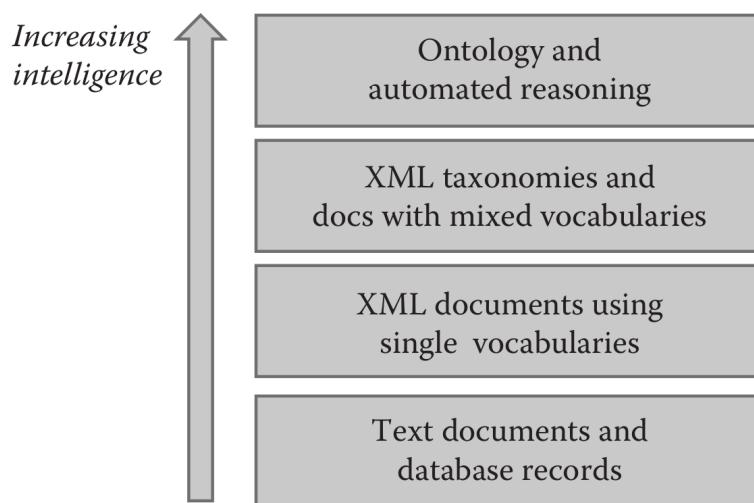


Figura 5 – Smart data continuum: níveis de representação de dados na forma de conhecimento processável por máquinas.

O nível mais baixo de representação começa com os dados sem nenhum significado semântico, dependentes do contexto da aplicação. O segundo nível envolve a definição de esquemas XML para conseguir independência dos dados da aplicação, os dados fluem entre aplicações em um único domínio mas não podem ser compartilhados fora do domínio. No terceiro

nível, os dados podem ser combinados a partir de diferentes domínios, sendo suficientemente independentes para serem recuperados e combinados com outras fontes de dados. Finalmente no quarto nível, é possível inferir novos dados a partir dos existentes e compartilhá-los entre aplicações sem requerer interferência humana ([SUGUMARAN; GULLA, 2011](#)).

Resource Description Framework (RDF)

O Resource Description Framework (RDF) é uma família de especificações da W3C, que foi disponibilizada em 1999 como parte do W3C's Semantic Web Effort. Elas fornecem um framework comum que permite que dados sejam compartilhados e reusados através das fronteiras das aplicações, empresas e comunidades ². O RDF foi originalmente projetado como um modelo de metadados e também chegou a ser usado como um método de descrições conceituais, principalmente para descrever recursos web e formalmente é um formato de dados de tipo grafo direcionado e rotulado para representar informação na web³.

O RDF é usado em várias áreas de aplicação, como *resource discovery*, para melhorar as capacidades dos motores de busca, *cataloging*, para descrever conteúdo e as relações de conteúdo disponibilizados em um sistema web particular, e descrição de *intellectual property rights* de páginas web. Seu modelo básico de dados consiste em um padrão de três tipos de objetos, conhecido como triplas:

- **Sujeito:** representa os recursos e são identificados por meio de URIs. Por exemplo, uma página web ou um elemento HyperText Markup Language (HTML) podem ser recursos.
- **Predicado:** são aspectos, características, atributos ou relações específicas que descrevem o sujeito, cada predicado têm um significado específico e relaciona um sujeito com um objeto.
- **Objeto:** um recurso específico ou valor de propriedade que representa uma características do sujeito ⁴

Com RDF é possível explicitar relações entre dois objetos (usando-se uma Tripla RDF), mas não é possível fazer modelagens específicas nem inferência. Para descrever detalhadamente o que um objeto representa e suas relações com outros objetos, são necessárias ontologias descritas no padrão OWL.

² <http://www.w3.org/2001/sw/>

³ <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

⁴ <http://www.w3.org/TR/PR-rdf-syntax/>

SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL)

SPARQL é uma linguagem de consulta semântica usada por bancos de armazenamento e recuperação de dados de dados compatíveis com o formato RDF ou que sejam fornecidos como RDF via middleware. Atualmente é um padrão especificado pela W3C e uma das tecnologias principais da web semântica.

A versão de SPARQL 1.1, veio com novas características que permitem a atualização de dados em formato RDF, permitindo atualizar, criar e remover dados em formato RDF em um Graph Store⁵.

Web Ontology Language (OWL)

A Web Ontology Language (OWL) foi recomendada pelo W3C em 2004 para representar e compartilhar ontologias na Web. Essa linguagem foi projetada para aplicações que necessitam processar o conteúdo da informação, em vez de apenas organizar informações em nós (MCGUINNESS; HARMELEN et al., 2004). OWL é uma linguagem que permite que a semântica seja explicitamente associada ao conteúdo dos dados na web e formalmente especificada através de ontologias, compartilhadas na Internet.

A versão OWL 2 é a versão mais recente da linguagem. De acordo com as especificações do W3C⁶, a OWL 2 adicionou três novos perfis (sub-linguagens) aos perfis DL e Full já existentes: OWL 2 EL, OWL 2 QL e OWL RL (Figura 6). Cada um desses perfis fornece características de expressividade diferente para diversos cenários de aplicação:

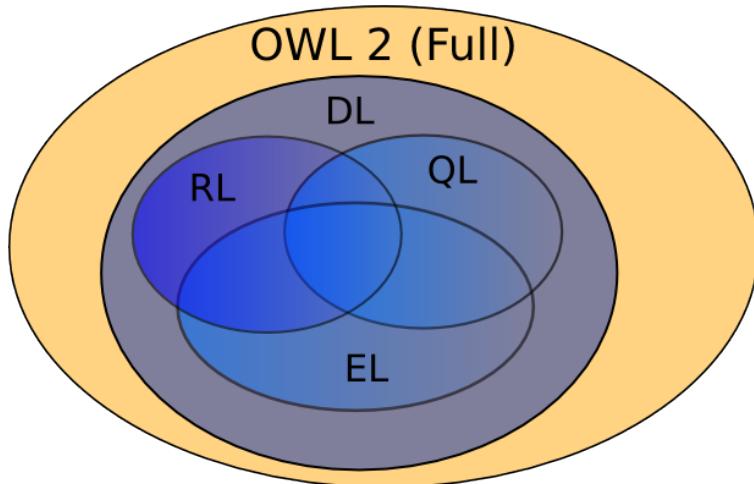


Figura 6 – OWL2 Profiles.

⁵ <<https://www.w3.org/TR/sparql11-update/>>

⁶ <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

Full O perfil OWL Full é direcionado para usuários que querem a máxima expressividade e a liberdade sintática do OWL sem garantia computacional. É improvável que qualquer motor de raciocínio seja capaz de suportar completamente cada recurso da OWL Full ([MCGUINNESS; HARMELEN et al., 2004](#)).

DL O perfil OWL DL (Description Logic) é para aplicações que necessitam de máxima expressividade, enquanto mantém a computabilidade (todas as conclusões são garantidas de ser computáveis) e decidibilidade (todas as computações terminarão em tempo finito) ([MCGUINNESS; HARMELEN et al., 2004](#)). OWL DL inclui as construções da linguagem OWL, mas elas podem ser usadas somente sob certas restrições.

EL O perfil OWL 2 EL é baseado na família EL++ de lógica descritiva (Description Logic). Esse perfil é particularmente útil em aplicações utilizando ontologias que contêm um grande número de propriedades e/ou classes. Além disso, o OWL 2 EL utiliza um padrão comum, utilizado em ontologias, para conceitos e planejamento, ou seja, a combinação de conjunção e qualidades existenciais.

QL O perfil OWL 2 QL é baseado na família DL-Lite de lógica descritiva. Esse perfil foi criado para permitir o raciocínio (reasoning) eficiente com grandes quantidades de dados estruturados de acordo com esquemas relativamente simples. Ele fornece a maioria dos recursos necessários para capturar modelos conceituais, tais como diagramas de classe UML, diagramas de entidade/relacionamento, e esquemas de banco de dados.

RL O perfil OWL 2 RL é voltado para aplicações que exigem raciocínio escalável em troca de alguma restrição de poder expressivo. Ele define um subconjunto sintático de OWL 2 que favorece a implementação utilizando tecnologias baseadas em regras. Esse perfil pode ser utilizado na maioria das construções OWL 2. Porém, para permitir implementações baseadas em regras de raciocínio, a forma como essas construções podem ser usadas em axiomas foi restringida.

Protégé

O editor de ontologias Protégé ([MUSEN, 2015](#)), é a ferramenta recomendada pela comunidade para criar ontologias em formato OWL, fornecendo:

- GUI Framework: para suportar múltiplas vistas da ontologia e layouts configuráveis de componentes.
- API: para suportar o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento.

- Modularization: permite suportar a edição de múltiplas ontologias em um mesmo ambiente.
- Navigation: fornece buscas globais e locais e hipervínculos nos editores.
- Refactoring tools: verificação de coerência das ontologias.
- Reasoning: compatibilidade com vários reasoner para suportar a inferência.
- Plug-ins: arquitetura extensível que suporta diferentes tipos de plug-ins.

Triplestore

Uma triplestore é um tipo de banco de dados baseado em grafos que armazena fatos semânticos, e fornece o armazenamento e a recuperação de triplas no padrão RDF (Seção 3.1). Os dados são armazenados em forma de redes de objetos com vínculos rotulados entre eles, (RUSHER, 2003). Este tipo bancos de dados são recomendáveis quando os dados tem uma estrutura flexível, cujas relações não tem um padrão definido.

A triplestore Blazegraph⁷ é um dos mais completos bancos de dados baseados em grafos e com suporte SPARQL. Ele integra as características de uma triplestore, fornece suporte nativo a SPARQL e implementa o SPARQL Protocol Endpoint. Esse último, padroniza a comunicação com os clientes e a compatibilidade com os sistemas web, por meio de um Endpoint (um endereço onde requisições em SPARQL podem ser feitas).

O Blazegraph foi escolhido por ter código aberto (Licença GPL) e ser compatível com os padrões da Web Semântica. Mas qualquer triplestore que seja compatível com os mesmos padrões SPARQL 1.1 e RDF pode ser usada. As principais características dele são:

- Banco de dado baseado em grafo de alta performance
- Suporte Blueprints API e RDF/SPARQL
- Clusters de replicação altamente disponíveis (HAJournalServer)
- Armazenamento de dados de uma única máquina até ~50B triples/quads (RWStore)
- O armazenamento de dados em cluster é essencialmente ilimitado (BigdataFederation)
- REST API Com deployment embutida e / ou webapp (NanoSparqlServer)
- SPARQL 1.1 nativo

⁷ <<https://www.blazegraph.com/>>

- RDFS+ Inferência e manutenção da verdade
- Triples, quads, ou Reificação feita corretamente (RDR) support
- Gerenciador de memória Java aproveita o JVM nativo heap (no GC)
- API centrada em vértices(RDF_GAS_API)
- Licença dupla: GPLv2 ou commercial
- Assinaturas de suporte ao desenvolvedor e produção

Discussão

Para desenvolver os sistemas software da presente pesquisa foram usadas tecnologias da web semântica. Primeiramente foram desenhadas as ontologias em formato OWL na ferramenta Protégé, depois instanciadas em triplestores e finalmente integradas no framework Decisioner que está implementado sobre o banco de dados baseado em grafos Blazegraph .

Blazegraph permitiu instanciar as ontologias em formato RDF, suportar inferência e permitir consultas através da linguagem SPARQL, suportando a definição e atualização dos conceitos das ontologias. Estas funcionalidades foram complementadas com ferramentas de edição da ontologia via web e real-time, esta implementação está descrita no capítulo 4.

Além das ontologias, foi necessário fornecer um meio de definição de conhecimento mais próximo à linguagem dos especialistas do domínio, para suportar a definição de SADs por parte dos especialistas. A solução identificada foi criar uma DSL definida a continuação.

3.2 Domain Specific Language (DSL)

Em desenvolvimento de software e engenharia de domínio uma linguagem de domínio específico, em inglês *Domain-Specific Language (DSL)*, é um tipo de linguagem de programação, ou linguagem de especificação, dedicada a um domínio particular de problema que usa expressões próprias dos especialistas daquele domínio. Um usuário, relacionado com um domínio específico, pode usar uma DSL sem ter experiência em desenvolvimento de software pois a DSL está relacionada com seu domínio de trabalho. [Fowler \(2010\)](#) afirma que programadores instruem o computador no que ele deve fazer, pois já entendem a maneira dele trabalhar, mas com DSLs é feito o inverso: o computador começa a entender o que o usuário do domínio escreve.

Segundo [Mernik, Heering e Sloane \(2005\)](#), as vantagens das DSL, em comparação com as linguagens de propósito geral, são a expressividade, facilidade de uso e a integração com o domínio da aplicação. O conceito não é novo, linguagens de programação de propósito específico existem desde o começo das linguagens de programação, mas o termo tornou-se padrão devido à ascensão da modelagem de domínio específico. DSLs são classificadas da seguinte forma:

- Domain-Specific Markup Languages: são linguagens de um domínio particular com a particularidade de anotar os dados com etiquetas para que eles sejam sintaticamente distinguíveis. Um exemplo delas é a Hypertext Markup Language (HTML), que permite anotar dados no domínio das páginas web.
- Domain-Specific Modeling Languages (specification languages): são linguagens que permitem especificar sistemas com o propósito de modelar eles, são compostos de uma estrutura consistente de um conjunto de regras que permitem interpretar o significado dos componentes modelados. Uma linguagem deste tipo é a Unified Modeling Language (UML) que permite especificar sistemas de software.
- Domain-Specific Programming Languages: são linguagens que permitem a programação em alto nível aplicada a um domínio específico de conhecimento. Uma linguagem desse tipo é a linguagem R que permite a programação de conceitos estatísticos e geração de gráficos.

Segundo o tipo de implementação as DSL podem ser divididas em external DSL e internal DSL, explicadas a continuação([FOWLER, 2010](#)):

External DSL: é uma linguagem de domínio específico que é definida com uma sintaxe independente de outras linguagens de programação, tendo como principal vantagem a flexibilidade da DSL. A desvantagem é que requer um desenvolvimento de um full parser para processar ela.

Internal DSL: é uma linguagem de domínio específico escrita dentro de uma linguagem host existente. A vantagem deste enfoque de definição de DSL é que o tempo e custo de desenvolvimento é menor em relação a definir uma DSL externa. Este tipo de linguagens são escritas sobre uma linguagem de propósito geral e por isso apresenta a desvantagem da linguagem depender das instruções e características da linguagem host, o que em alguns casos afeta a flexibilidade e expressividade da DSL que quer-se definir.

Linguagem Groovy

Groovy é uma linguagem dinâmica para a máquina virtual Java (JVM) (KOENIG et al., 2007). Ela tem uma sintaxe parecida com Java, suporte para programação funcional, produz JVM bytecodes e interopera bem com código e bibliotecas Java. Traz características de linguagens como Python, Ruby e Smalltalk para uma linguagem similar a Java (KOENIG et al., 2007).

O grande benefício que Groovy traz para este projeto é o suporte que da natureza dinâmica que dá ao desenvolvimento de DSLs. Essas DSLs podem rodar diretamente na JVM e usar bibliotecas Java já existentes. DSLs em Groovy se integram facilmente à própria linguagem Groovy de modo que não é aparente onde o código em Groovy termina e a DSL começa (DEARLE, 2015). Isso permite que a DSL seja implementada como uma DSL interna, estendendo a linguagem Groovy (e simplificando a sua criação), mas mantenha uma sintaxe próxima à linguagem usada pelos especialistas de domínio. Como uma DSL interna, ela pode usar ferramentas já existentes para auxiliar a escrita de código em Groovy, como editores com *syntax highlighting* e *code completion*, para a sua edição.

Outra vantagem de Groovy é que ela é uma linguagem para a JVM e existem muitas bibliotecas, em Java, que dão suporte às tecnologias da Web Semântica. Isso inclui bibliotecas como a OWL API, para trabalhar com ontologias em OWL, Apache Jena, para acesso a triple-stores, entre outras. Finalmente, os SADs a serem criados serão aplicativos web, Groovy tem um web framework completo e madurecido, Grails⁸.

Grails usa uma abordagem de convenção sobre configuração que usa opções default razoáveis. Ele se integra bem com a JVM e tem características como ORM integrado, DSLs, metaprogramação durante runtime e compile-time, e programação assíncrona (SMITH; LEDBROOK, 2009).

Discussão

A partir do análise dos especialistas do domínio foi determinado que não têm um conhecimento detalhado sobre modelagem de conhecimento usando os padrões da web semântica, descritos neste capítulo.

Também foi determinado que as ontologias permitem uma definição detalhada do conhecimento do domínio, pelo que foi necessário definir uma camada intermédia que facilitasse a definição do conhecimento por parte dos especialistas. Por isso foi identificado a necessidade de uma DSL adequada ao nível de conhecimento de computação dos especialistas, e que contenha termos familiares ao domínio desses especialistas.

⁸

<<https://grails.org/>>

Uma DSL de tipo programming pode suportar a definição de conhecimento dos especialistas, fornecendo uma solução compatível com os termos específicos deles. Isso facilita que os especialistas especifiquem os SAD com um grau de detalhamento suficiente para definir o conhecimento deles sem intervenção dos desenvolvedores de software, os especialistas poderiam se tornar, na prática, programadores de seus próprios SADs.

Neste projeto, DSLs servem para customizar o comportamento dos SADs. Por isso, uma Domain-Specific Programming Language foi desenvolvida. Ela faz uso da ontologia para organizar o conhecimento do domínio e definir o comportamento dos SADs (Figura 7). Para facilitar a criação desse tipo de DSL, a linguagem Groovy⁹ foi escolhida para implementação.

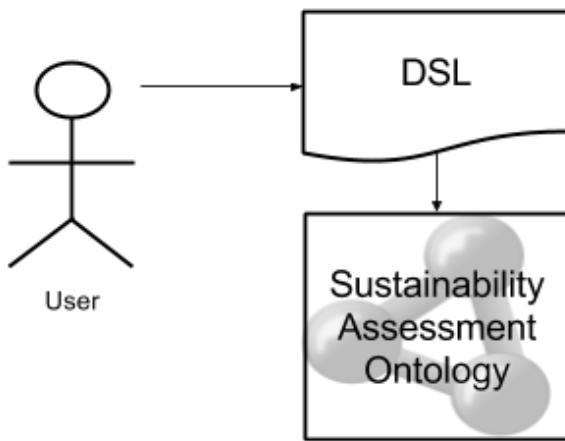


Figura 7 – Componente DSL

3.3 Considerações finais

A partir do problema identificado e da revisão da literatura foi encontrado que o desenvolvimento de ontologias é um área de pesquisa abrangida pela Web Semântica que permite desenvolver sistemas web baseados em conhecimento, satisfazendo os requisitos de desenvolvimento do SAD SustenAgro explicados no capítulo 2.

Porém, a definição de uma ontologia não é uma tarefa trivial, pelo que existe dificuldade por parte dos especialistas do domínio ao definir as ontologias. Diante deste cenário foram analisadas varias soluções e encontrou-se que complementando a ontologia com uma DSL, favorece na definição dos conceitos dos especialistas em uma linguagem mais natural para os especialistas.

⁹

<<http://groovy-lang.org/>>

A continuação será apresentado o capítulo intitulado “Framework Decisioner” que faz uso das tecnologias explicadas para definir um Framework que facilite a definição de conhecimento dos especialistas com a finalidade de gerar SADs.

Framework Decisioner

A partir da descrição das características do SAD SustenAgro (seção 2.3), do requisito de modelar o conhecimento através de ontologias (usando tecnologias da Web Semântica) e de definir uma DSL para facilitar a definição de comportamentos por parte dos especialistas, foi modelado e desenvolvido um protótipo de um framework, intitulado Decisioner, que permite definir e gerar SADs do tipo do SustenAgro. O framework Decisioner é basicamente formado por ontologias, que representam conhecimento do domínio, e por uma DSL que permite definir comportamentos e estabelecer configurações gerais de um SAD.

Satisfazer os requisitos requeridos pelos pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente foi uma das forças que dirigiram o desenvolvimento desta pesquisa. Para chegar a arquitetura, aqui apresentada, houve um trabalho interativo para chegar aos requisitos que eram gerais, que deveriam estar no framework, e os que eram específicos, que deveriam estar definidos na ontologia ou na DSL do SustenAgro.

Neste capítulo será apresentado a arquitetura do protótipo Decisioner, cada uns dos seus componentes e funcionalidades e as contribuições para esta pesquisa.

4.1 Arquitetura do Decisioner

Os SADs, segundo a descrição feita no capítulo 2, são compostos por banco de dados, base de conhecimento, módulo de processamento da informação e módulo gerador de resultados. Em cada um desses módulos, está implícito o conhecimento dos especialistas, pelo qual a primeira característica definida do Decisioner foi a integração de ontologias.

As ontologias permitem a definição do conhecimento dos especialistas em um componente independente. Ele é complementado pela DSL, que permite definir comportamento

e características do SAD. O diagrama para a arquitetura desenvolvida para essa solução é apresentado na figura 7. Com base nesse diagrama, os componentes dos SADs foram generalizados e, por meio do desenvolvimento de experimentos, foi definida uma arquitetura que pode ser reusada em diferentes SADs (do mesmo tipo do SustenAgro).

O Decisioner pode ser classificado como um framework. Já que é uma plataforma de software com design reutilizável e implementações reutilizáveis pelos clientes, que o especializam em um domínio particular (RIEHL, 2000).

A arquitetura do framework Decisioner é composta pelos componentes gerais para a definição de SADs, apresentados na Figura 8. Usuários especialistas podem interagir com o framework através dos editores de ontologias e DSL. Usuários finais interagem através da sua interface Web.

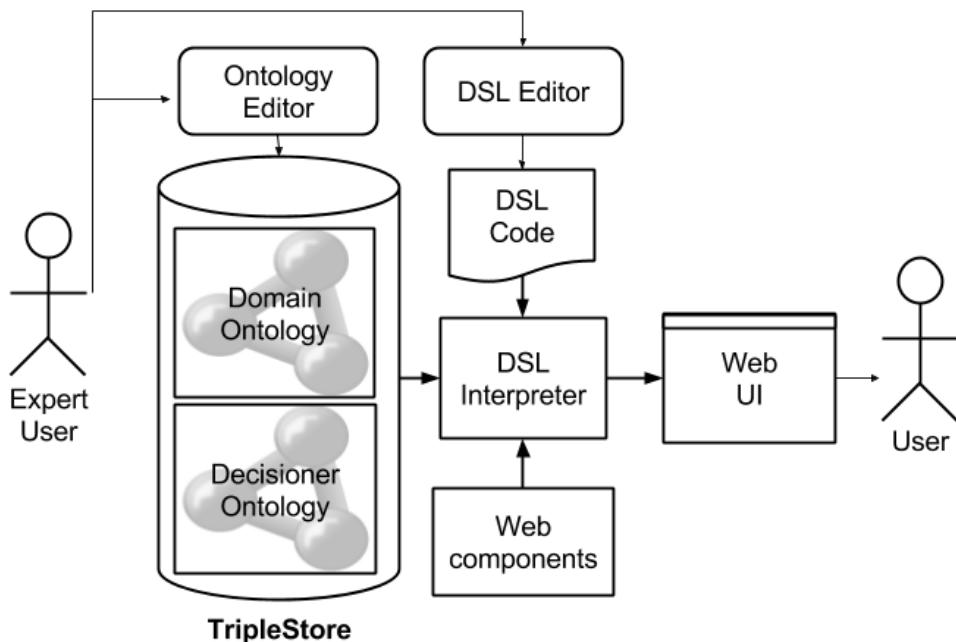


Figura 8 – Arquitetura do Decisioner

Os componentes dessa arquitetura são:

1. **Domain ontology**: representa os conceitos específicos dos especialistas que serão utilizados no SAD.
2. **Decisioner ontology**: faz uma ligação entre os tipos de dados e as interfaces gráficas capazes de mostrar ou editar esses dados, fazendo um mapeamento entre os dois.
3. **Ontology Editor**: componente que permite editar as ontologias em um formato mais fácil para o uso pelos especialistas.

4. **Triplestore:** sistema de armazenamento e recuperação da informação em formato de triplas RDF, (explicado em detalhe na seção 3.1). Ele permite o gerenciamento de dados e ontologias em formato RDF A traves da linguagem padrão SPARQL Protocol and RDF Query Language (Sparql)([PRUD; SEABORNE et al., 2006](#)).
5. **DSL code:** representa uma instancia da DSL com as definições particulares para um SAD específico.
6. **DSL Editor:** Editor visual web da DSL com recursos como code completion e syntax coloring. Permite a edição da DSL por parte dos especialistas do domínio.
7. **Web components:** conjunto de elementos visuais que podem ser reusados nos SADs com a finalidade de modularizar e simplificar a geração de Web User Interfaces (UI).
8. **DSL Interpreter:** Interpretador da DSL para processar as definições do SAD e criar um SAD específico. Ele usa a DSL, ontologias e componentes web para gerar automaticamente a interface e comportamento de um SAD específico.
9. **Web UI:** Interfaces visuais geradas pelo DSL Interpreter. Utilizam os Web Components e fornecer a interface gráfica, usadas pelos usuários finais, na interação com o SAD na Web.

Essa arquitetura foi implementada em um protótipo Decisioner. Sempre que possível, na implementação do Decisioner, foram reutilizados componentes ou bibliotecas disponíveis publicamente na internet.

4.2 Metodologia

Com a finalidade de desenvolver o protótipo do framework Decisioner, escolheu-se o SAD SustenAgro como um caso de uso e exemplo de instanciação. Ele permitiu a definição de uma metodologia de desenvolvimento para os componentes. Teria sido interessante instanciar o framework para um segundo SAD, para demonstrar melhor sua generalidade. Contudo, dada as limitações de tempo impostas a um trabalho de mestrado e ao tempo necessário ao desenvolvimento do framework, isso não foi possível. No decorrer deste texto, foram feitas algumas considerações sobre a generalidade do framework. A metodologia abordada durante este processo, incluiu as seguintes etapas:

1. Seleção da Triplestore: foram avaliadas as triplestores existentes com a finalidade de definir uma que se adaptasse aos requisitos do framework.

2. Seleção da linguagem de programação e framework web: foi realizada uma verificação das tecnologias de desenvolvimento de sistemas web compatíveis com as tecnologias da web semântica e com a DSL.
3. Design da DSL: Durante o processo de desenvolvimento do SAD SustenAgro, foram generalizados seus componentes, permitindo definir cada uma das características da DSL. O processo foi iterativo, permitindo refinar a expressividade da linguagem com a ajuda de especialistas da Embrapa.
4. Desenvolvimento do DSL editor: implementação de uma web UI que permite editar a DSL em formato textual, fornecendo aos especialistas um editor moderno. Modificações na DSL podem ser vistas no SAD imediatamente.
5. Desenvolvimento do Ontology Editor: implementação de uma web UI com componentes específicos para suportar a edição das ontologias, por parte dos especialistas, em um formato textual.
6. Desenvolvimento do DSL Interpreter: o interprete da Decisioner DSL. Esse componente tinha que ser atualizado a medida que o design da DSL mudava.
7. Integração com web components e web UIs: Widgets gráficas, na forma de Web components suportam a geração das Web UIs que compõem os SADs. Widgets foram adicionadas para atender as necessidades do SustenAgro.

A metodologia de desenvolvimento foi guiada pelo desenvolvimento do SAD SustenAgro. Primeiramente foram desenvolvidas as ontologias, continuando com o desenvolvimento do DSL Interpreter e depois com a integração dos web components e UIs. Foram realizados vários ciclos de desenvolvimento para refinar as funcionalidades. A Figura 9 representa a metodologia realizada.

A seguir, cada componente da arquitetura do Decisioner é discutido, começando pela ontologia Decisioner.

4.3 Ontologia Decisioner

Para desenvolver um protótipo de uma ontologia geral, que abstraísse os conceitos dos SADs, foram analisados os sistemas SAD desenvolvidos pela Embrapa Meio Ambiente, descritos na seção 2.3.

A versão inicial da ontologia foi modelada na ferramenta Protégé, no formato OWL. Depois foi criado um novo formato, usando o YAML Ain't Markup Language (YAML), mais simples que OWL, para ser usado pelos especialistas no Ontology Editor, explicado na seção 4.4.

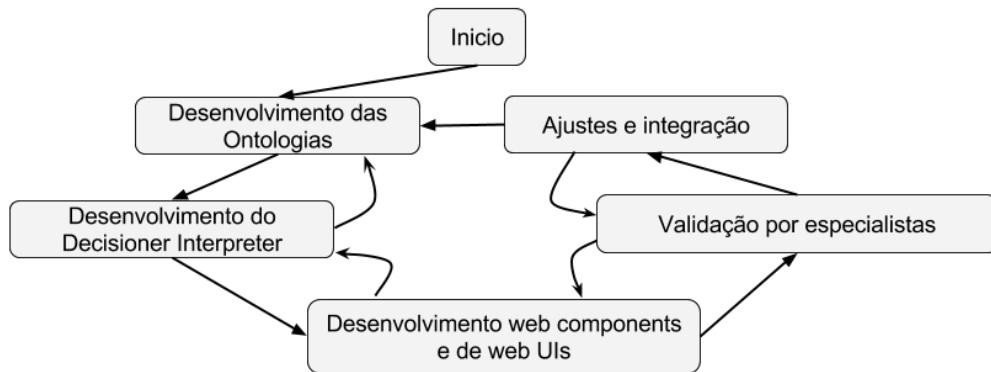


Figura 9 – Metodologia de desenvolvimento do Decisioner

A ontologia Decisioner contém os elementos comuns identificados e abstraídos dos SADs da Embrapa, e tem o propósito de fornecer uma ontologia geral que dê suporte a SADs diferentes.

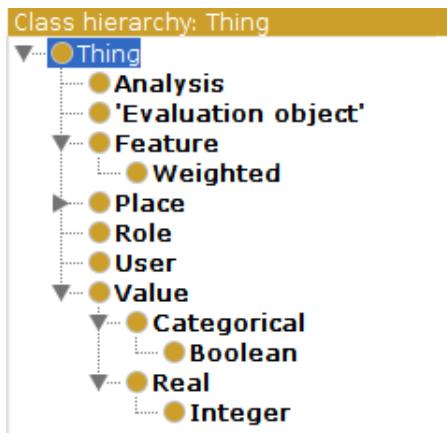


Figura 10 – Modelagem abstrata do SAD

Na Figura 10, é apresentada a hierarquia de classes resultante. Ela contém as classes:

Evaluation Object: classe que representa os objetos que serão analisados em cada processo de avaliação. Eles serão indivíduos dessa classe ou de alguma subclasse dela.

Feature: classe que representa as características a avaliar em um Evaluation Object. Elas serão quantificadas, analisadas e usadas no processo de geração de relatórios no processo de avaliação. As Features têm associado um Value que as quantifica. Existe a subclasse *Weighted* que representa uma Feature vinculada a um peso. Esse peso pode ser usado nas fórmulas para o cálculo dos modelos codificados pelos especialistas.

Place: classe que representa a localização física dos objetos modelados, permitindo referenciar geograficamente um Evaluation Object.

Analysis: classe que representa uma avaliação associada a um Evaluation Object. Suas instâncias têm propriedades, como nome e data da avaliação, e correspondem a uma avaliação cadastrada.

Value: classe que representa os valores que são atribuídos a cada instância de Feature. As sub-classes Real e Categorical representam tipos de valores.

User: classe que representa os usuários do sistema.

Role: classe que representa os papéis de usuário do sistema e suas permissões. Por padrão, estão instanciados os perfis User e Admin.

A partir dessas classes é possível organizar os conceitos específicos de cada SAD como subclasse delas. Um aspecto importante das ontologias é que suportam a inferência de novos conhecimentos, permitindo classificar e relacionar dados novos do sistema, ajudando desta maneira na automatização da geração dos SADs. Isso permite ao DSL Interpreter mapear qualquer conceito novo, específico de um SAD em particular, a um desses conceitos conhecidos e saber o que deve ser feito com ele.

4.4 Ontology Editor

Para suportar a edição das ontologias do domínio, por parte dos especialistas, foi implementado um editor web. Ele permite editar a ontologia específica do SAD em um formato baseado em YAML, a descrição da ontologia neste formato passa a um conversor para ficar no formato OWL que é processado pela API de protégé para instanciar a ontologia com as restrições definidas e finalmente exportado como RDF para ser substituído na triplestore Blazegraph, este processo é realizado a cada vez que o usuário salva a ontologia.

A Figura 11 mostra uma imagem do editor. Ela mostra o código da ontologia em formato YAML, um side panel, que apresenta as classes, propriedades e indivíduos hierarquicamente (permitindo a referênciação dos elementos no código), um button restore para restituir a ultima versão da ontologia e um button save para salvar e carregar no Decisioner a ontologia em edição.

```

1  #
2  # Esse arquivo está no formato yaml, nele você tem chaves com valores
3  # associados:
4  # label: description
5  # a string description fica associada a chave label
6  # Quando se quer uma lista de coisas, o - é usado, exemplo:
7  # cidades:
8  #   - New York
9  #   - San Franciso
10 #   - São Paulo
11
12
13 # Nome (URL) que define a sua ontologia
14 ontology: http://semantic.icmc.usp.br/sustenagro#
15
16 # As ontologias que você inclui. No nosso caso vai ser sempre uma
17 # includes:
18 #   - SemanticUI.yaml
19
20 imports:
21   - prefix: ui
22     file: SemanticUI.yaml #http://purl.org/biodiv/semanticUI#
23
24 #OWLImports:
25 #   - prefix: ui
26 #     uri: http://purl.org/biodiv/semanticUI#
27 #     file: SemanticUI.rdf
28
29 prefix:
30   dbp: http://dbpedia.org/ontology/
31
32 map:
33   Provider: http://dbpedia.org/ontology/Provider
34   PhysicalPlant: http://dbpedia.org/resource/PhysicalPlant
35   state: dbp:state
36   State: dbp:State
37   Microregion: http://dbpedia.org/page/Microregion_(Brazil)
38
39 # rdf:type
40
41 #
42 # Properties:
43 #   Relacionam as coisas na ontologia
44 #   Dica:
45 #     type: Functional - quer dizer que algo só pode ter a propriedade
46 #     uma vez: Katia hasCPF 8999999999999999 (hasCPF é functional porque
47 #     cada pessoa só pode ter um CPF
48 #
49
50 relevance:
51   subPropertyOf: AnnotationProperty
52   domain: Indicator
53   label: [relevance @en, relevância @pt]
54
55 hasSugarcaneSource:
56   subPropertyOf: ObjectProperty
57

```

Figura 11 – Editor de ontologia

Idealmente, especialistas de domínio deveriam poder criar a ontologia usando um editor gráfico. Mas devido as restrições de escopo de um projeto de mestrado, não haveria tempo para criar um. A criação de uma ferramenta, como um editor gráfico, teria o escopo de um novo mestrado.

Usar um editor para OWL, como o Protégé, exigiria que os especialistas de domínio aprendessem OWL e lógica descritiva, o que não é uma opção viável. Este editor de ontologias é uma solução intermediária. Ele adota um formato em YAML, menos complexo que OWL, mas expressivo o suficiente para as necessidades das ontologias. Ele ajuda os usuários a encontrar

os elementos da ontologia (side panel) e permite a inserção da ontologia no Decisioner. Apesar de ser possível aos especialistas desenvolver uma ontologia totalmente nova, usando o editor, seu objetivo é permitir que eles possam fazer modificações localizadas nas ontologias.

4.5 Decisioner DSL

Para permitir que os especialistas definam o comportamento do framework Decisioner, foi definida uma DSL que permite definir as principais características de um SAD. Tal DSL foi baseada na modelagem geral da arquitetura do Decisioner e permite relacionar conceitos específicos dos especialistas, criar equações para os modelos usados, gerar a interface web para o usuário final, servindo de interface entre a ontologia do Decisioner e a ontologia do domínio.

A DSL foi baseada na linguagem Groovy, porque ela suporta o desenvolvimento de DSLs que se comportam como extensões da linguagem Groovy.

O uso da DSL, por parte especialistas, diminui o esforço necessário no desenvolvimento de um SAD. Ela permite que os próprios especialistas sejam capazes de fazer parte do desenvolvimento e validação do SAD. Especialmente na parte de refinamento e atualização do SAD, especialistas podem fazer modificações no sistema sem a ajuda de programadores e ver o resultado dessas mudanças imediatamente.

As instruções definidas na DSL são:

Evaluation Object

Nos SAD focados na avaliação, existe um objeto de avaliação que representa as entidades a serem avaliadas. Esse objeto é constituído por propriedades que especificam o que está sendo avaliado. A instrução *evaluationObject* permite definir as propriedades desse objeto. Por exemplo, caso uma fazenda esteja sendo avaliada, é possível criar propriedades como nome, tipo de produção, localização, etc.

A instrução tem como argumentos a URI (ou label) da classe da ontologia do domínio, que será objeto de avaliação, e cada uma das propriedades relacionadas. A Listagem 4.1 apresenta um exemplo que usa a classe *ProductionUnit*, como classe dos objetos a serem avaliados e define as propriedades *hasName*, para nome, e *hasAgriculturalProductionSystem*, para tipo de produção. Podem ser usados os labels das propriedades, ao invés de suas URIs.

Listagem 4.1 – Definição do Evaluation Object

```
evaluationObject ":ProductionUnit", {
    instance "ui:hasName", label: ["en": "Name", "pt": "Nome"]
    instance ":hasAgriculturalProductionSystem"
```

```
type label: ["en": "Type", "pt": "Tipo"]
}
```

O comando *instance* vincula uma propriedade definida na ontologia, através da URI. Ela pode ser complementada por parâmetros que customizam a representação visual da propriedade. O comando *type* faz com que os EvaluationObject tenham que ser de subclasses da classe principal. Por exemplo, uma unidade produtiva pode ser uma plantação greenfield (mecanizada e uniforme), fazenda familiar, etc. Os parâmetros que podem complementar as instruções anteriores são:

1. *required*: define uma propriedade obrigatória
2. *label*: define um texto associado
3. *placeholder*: define um texto de ajuda
4. *widget*: define um controle gráfico de usuário

Feature

A instrução *Feature* define as características, do Evaluation Object, que serão usadas na sua avaliação. O DSL Interpreter vai gerar uma interface gráfica, onde o usuário final terá que preencher os dados sobre cada característica. Cada característica tem um tipo associado a ela (na ontologia de domínio). A partir dele, é possível associar uma widget específica para edição. Por exemplo, a Figura 12 mostra a widget para uma característica que tem um tipo categórico com 3 possíveis valores. Os textos mostrados vêm da ontologia e fazem parte da descrição de cada elemento. É possível criar descrições em mais de uma língua.

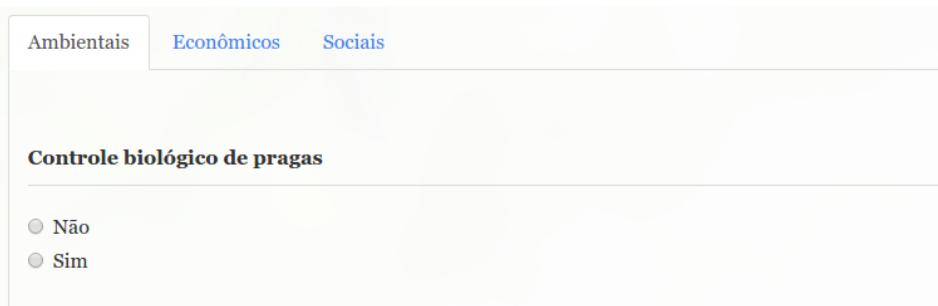


Figura 12 – Widgets geradas a partir da definição da DSL

Quando o usuário final usa a widget, o valor escolhido é anotado, no Evaluation Object, usando a propriedade *has value*. Nas fórmulas, usadas para os cálculos do modelo usado, é possível acessar esses valores. Os usuários não precisam preencher a todas as características.

Listagem 4.2 – Definição de Features

```
feature ':EnvironmentalIndicator', 'extraFeatures': true
```

O comando tem como argumento uma URI (ou label) (Listagem 4.2) que vincula todas as sub-classes da classe referenciada. O parâmetro opcional *extraFeatures* permite ativar a inserção de novas *features*, por parte do usuário do SAD.

Report

O comando *Report* permite definir as fórmulas e procedimentos matemáticas necessários para o cálculo do modelo usado pelos especialistas de domínio, e como os resultados serão apresentados (Listagem 4.3). Fórmulas e procedimentos para modelagem matemática são de responsabilidade dos especialistas de domínio. A DSL permite desde fórmulas simples, de uma linha, até o uso de bibliotecas complexas, chamadas usando a JVM. Como a DSL é uma extensão da linguagem Groovy, qualquer comando da linguagem pode ser usado nela, incluindo operações lógicas e aritméticas. Para facilitar o trabalho dos especialistas de domínio, recomenda-se encapsular qualquer algoritmo ou chamada de função mais complicados num comando simples.

As fórmulas usadas têm acesso a todos os dados associados às *Features*, pelos usuários finais. Esses dados são usados no modelo adotado e podem gerar múltiplos resultados de avaliação. Na Listagem 4.3, o comando *weightedSum(data.:'EnvironmentalIndicator')* calcula a média ponderada de todos os indicadores ambientais fornecidos pelo usuário final. Esse comando foi criado para simplificar o trabalho dos especialistas. Biblioteca de comandos, como essa, podem ser adicionadas ao framework ou criados a pedido dos especialistas.

Listagem 4.3 – Definição da lógica de avaliação.

```
report {
    environment = weightedSum(data.:'EnvironmentalIndicator')
    economic = weightedSum(data.:'EconomicIndicator')
    social = weightedSum(data.:'SocialIndicator')
    sustainability = (environment + social + economic)/3
    ...
}
```

Os resultados do processo de avaliação podem ser apresentados por meio de várias *widgets* que facilitam a representação e compreensão dos resultados da avaliação. Na listagem 4.4 o comando *sustainabilityMatrix x: sustainability, y: efficiency* apresenta os valores das variáveis *sustainability* e *efficiency* num gráfico de matriz de sustentabilidade (Figura 38). Para executar esse

comando, o DSL Interpreter simplesmente coloca a widget *sustainabilityMatrix* na UI e passa os valores das variáveis, como atributos. A widget vai ser responsável por criar o gráfico. Essas widgets gráficas podem ser criadas como Web Components padrão (HTML 5) ou componentes do framework Grails (Seção 4.7). O framework vem com um conjunto de widgets predefinidos, mas novas podem ser adicionadas.

Listagem 4.4 – Definição dos componentes visuais do relatório.

```
report {  
    ...  
    sustainabilityMatrix x: sustainability, y: efficiency  
    text 'en': 'Microregion map', 'pt': 'Mapa da microregião'  
    map data.'Microregion'  
}
```

Por meio dos comandos da DSL, é possível definir o comportamento e as características gerais dos SAD.

Os elementos gráficos (widgets), seja os que representam as Features ou os usados nos relatórios, são implementados como Web Components HTML 5 ou Grails. Isso dá muita flexibilidade ao framework Decisioner. A qualquer tempo é possível se acrescentar novas widgets, para novos tipos de dados (Features) ou gráficos de relatórios.

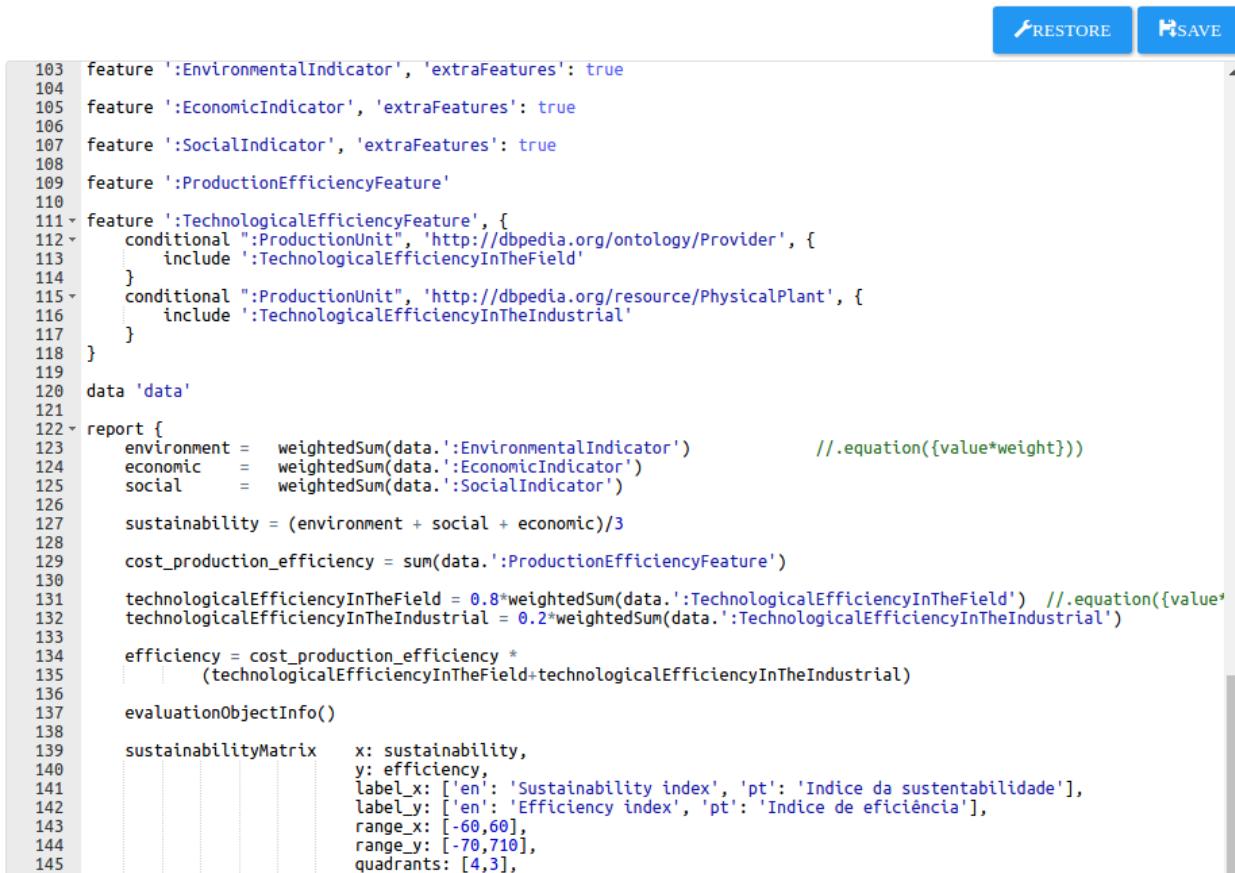
4.6 DSL Editor

Para suportar a edição da Decisioner DSL, foi implementado um editor textual web que permite aos especialistas editar e rodar o código da DSL. Ele é composto por um editor de código para a DSL, um button restore para carregar novamente a última versão válida da DSL e um button save para salvar e carregar a DSL no DSL Interpreter.

O Editor de código foi baseado no Ace Editor¹, que fornece Syntax highlighting para varias linguagens de programação, entre elas Groovy, e como a DSL foi baseada em Groovy, foi configurada para reconhecer dita sintaxe, também foi ativado o suporte de code completion para fornecer uma experiência de uso amigável. A principal vantagem é a funcionalidade de salvar a ontologia e reconfigurar o SAD imediatamente, permitindo uma experiência em tempo real de redefinição do SAD, se o usuário errar, ele vai poder restaurar as configurações por default.

A Figura 13 mostra o editor em ação.

¹ <https://ace.c9.io/>



```

103 feature ':EnvironmentalIndicator', 'extraFeatures': true
104 feature ':EconomicIndicator', 'extraFeatures': true
105 feature ':SocialIndicator', 'extraFeatures': true
106 feature ':ProductionEfficiencyFeature'
107
108
109
110
111 feature ':TechnologicalEfficiencyFeature', {
112     conditional ":ProductionUnit", 'http://dbpedia.org/ontology/Provider', {
113         include ':TechnologicalEfficiencyInTheField'
114     }
115     conditional ":ProductionUnit", 'http://dbpedia.org/resource/PhysicalPlant', {
116         include ':TechnologicalEfficiencyInTheIndustrial'
117     }
118 }
119
120 data 'data'
121
122 report {
123     environment = weightedSum(data.':EnvironmentalIndicator')           // .equation({value*weight})
124     economic   = weightedSum(data.':EconomicIndicator')
125     social     = weightedSum(data.':SocialIndicator')
126
127     sustainability = (environment + social + economic)/3
128
129     cost_production_efficiency = sum(data.':ProductionEfficiencyFeature')
130
131     technologicalEfficiencyInTheField = 0.8*weightedSum(data.':TechnologicalEfficiencyInTheField') // .equation({value*weight})
132     technologicalEfficiencyInTheIndustrial = 0.2*weightedSum(data.':TechnologicalEfficiencyInTheIndustrial')
133
134     efficiency = cost_production_efficiency *
135         (technologicalEfficiencyInTheField+technologicalEfficiencyInTheIndustrial)
136
137     evaluationObjectInfo()
138
139     sustainabilityMatrix x: sustainability,
140                           y: efficiency,
141                           label_x: ['en': 'Sustainability index', 'pt': 'Indice da sustentabilidade'],
142                           label_y: ['en': 'Efficiency index', 'pt': 'Indice de eficiência'],
143                           range_x: [-60,60],
144                           range_y: [-70,710],
145                           quadrants: [4,3],

```

Figura 13 – Editor DSL

4.7 Web components

Web Components² é um conjunto de APIs padrão para definir novas tags HTML personalizadas, reutilizáveis e encapsuladas para o uso em páginas ou aplicações web. O framework Grails também disponibiliza o uso de layout templates para implementar partes reusáveis de uma view (página HTML). Com essas duas tecnologias, é possível a criação de componentes (ou widgets) reusáveis da UI.

Para suportar a geração de diferentes tipos de SADs, foi necessário disponibilizar vários tipos de widgets que permitissem visualizar e editar diferentes tipos de dados. Para relacionar os web components com o conhecimento dos especialistas, modelou-se, na ontologia Decisioner, os data-types que permitem relacionar os tipos de dados com widgets específicas (capazes de editá-los), usadas nas web UIs dos SADs gerados. Os dados das Features dos SADs podem ser de vários tipos e, para cada tipo, existe uma widget apropriada para visualiza-o. Por

² <<https://www.webcomponents.org/introduction>>

exemplo, para representar uma propriedade de tipo numérico discreto é possível usar uma widget visual tipo spinner.

Nos relatórios, os especialistas devem contar com widgets para apresentar seus resultados em vários formatos, como tabelas, mapas, matriz de sustentabilidade, etc. Essas widgets podem ser específicas para um tipo de SAD em particular. Por isso, além do framework contar com uma biblioteca de widgets prontas, deve ser possível adicionar novas widgets facilmente. Ao usar padrões, como para Web Components, o framework permite a fácil inclusão de widgets novas. Não se espera que os especialistas de domínio criem essas widgets, mas sim que seja fácil para eles conseguí-las de desenvolvedores independentes (que só precisam conhecer o padrão para Web Components e os requisitos da widget).

O framework Decisioner tem uma biblioteca de web components (widget) construída usando o web framework Bootstrap³, que conta com diversos componentes básicos para a geração das Web UI. A maioria deles foi definida usando as layout templates do framework Grails, por ser mais fácil de programar. Atualmente, apenas dois componentes usam Web Components.

4.8 Web UI

A Web UI é uma interface web de usuário responsável por toda a interação com o usuário final. Ela permite apresentar e editar as informações do SAD, gerar as análises e visualizar os resultados na web ou em relatórios impressos. O mais importante é que ela é gerada automaticamente pelo DSL Interpreter, usando a DSL e ontologias particulares a cada SAD.

Parte da Web UI é igual para todos os SADs, como formulários de login. O resto dela é gerado com a ajuda dos Web Components. Eles são relacionadas aos tipos de dados existentes no sistema, por meio da ontologia Decisioner. Por exemplo, dados podem ser dos tipos numérico contínuo, numérico discreto, percentagem, booleano, categóricos ou alfanumérico. Dada essa diversidade, os tipos de dados foram modelados em ontologias com a finalidade de permitir a adaptação automática (ou semiautomática) da interface às mudanças dos conceitos do domínio.

Mudanças no layout geral podem ser feitas também através da edição das Cascading Style Sheets (CSS) do Decisioner. É esperado que, quando da instalação do sistema, técnicos de informática façam uma customização do sistema para adequá-lo aos padrões de apresentação da instituição. Eles também devem incluir qualquer Web Component (widget) necessário mas não disponível por default no Decisioner.

³ <http://getbootstrap.com/>

A figura 14 apresenta uma Web UI que foi gerada automaticamente, a partir da ontologia e das definições na DSL do SAD SUstenAgro. Nela são apresentados vários tipos de Web Components que demostram o suporte a diferentes tipos de dados.

The screenshot shows a web form titled "Register new production unit / farm:" on the left and "Select production unit / farm" on the right. The form consists of several sections:

- Production unit or farm name***: A text input field labeled "Name".
- Agricultural production system***: A table with two rows. The first row has a column for "Options" and a radio button next to "Sugarcane production system". The second row has a column for "Options" and a radio button next to "Provider".
- Production unit type***: A table with three rows. The first row has a column for "Options" and a radio button next to "Plant". The second row has a column for "Options" and a radio button next to "Provider".
- Sugarcane source***: A table with three rows. The first row has a column for "Options" and a radio button next to "Supplier origin". The second row has a column for "Options" and a radio button next to "Own origin".
- Availability of evaluation results***: A table with two rows. The first row has a column for "Options" and a radio button next to "Public". The second row has a column for "Options" and a radio button next to "Private".
- Buttons**: A blue "Register" button at the bottom right of the form.

Figura 14 – Web UI com web components

4.9 DSL Interpreter

O DSL Interpreter é o principal modulo do framework Decisioner. A sua principal funcionalidade é a interpretação das DSLs. Ele executa cada uma das instruções da DSL, vinculando dados e informação, das ontologias ou fornecidos pelos usuários finais, aos web components com a finalidade de gerar as Web UIs.

Para interagir com os dados da ontologia e apresenta-los na linguagem dos especialistas, foi necessário criar, no DSL Interpreter, uma camada de consulta de dados na triplestore para simplificar as consultas SPARQL (Figura 15). Esta camada, Sparql Simplifier, foi desenvol-

vida como uma solução eficiente para a recuperação de informações semânticas de um domínio de conhecimento usando um formato simplificado.

O componente DSL Interpreter processa as instruções dos especialistas na linguagem Decisioner DSL. Foram utilizadas técnicas padrões para a criação de DSLs usando a linguagem Groovy(DECARLE, 2015), o que facilitou a definição das DSLs.

Finalmente, o DSL Interpreter usa o UI Renderer para renderizar dinamicamente as Web UIs usando os Web Components. Esse processo é repetido toda vez que usuários solicitam uma View de um SAD. A figura 15 apresenta o DSL Interpreter e os outros módulos com os quais ele se conecta.

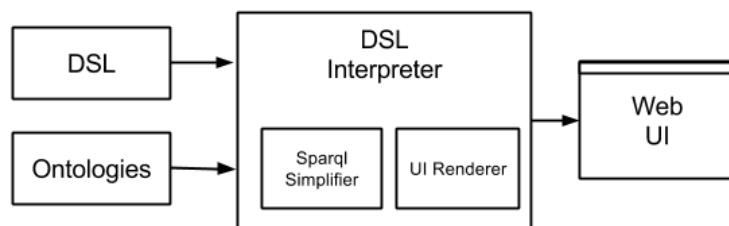


Figura 15 – Arquitetura do DSL Interpreter.

A figura 15 também representa a parte computacional do método proposto nesta pesquisa para definir SADs. O método consiste em representar o conhecimento dos especialistas em ontologias da web semântica e complementar com uma DSL que descreve os conceitos de evaluation object com features, método de avaliação e relatório de resultados, permitindo desta maneira definir o SAD por parte dos especialistas.

4.10 Considerações finais

Neste capítulo foram apresentados os principais componentes do Framework Decisioner, existem características dele como o gerenciamento de usuários e segurança que foram desenvolvidos, mas não se especificaram porque não contribuíram de maneira relevante ao desenvolvimento da pesquisa.

O desenvolvimento do Framework Decisioner foi realizado simultaneamente com o SAD SustenAgro, devido a que era necessário uma instância para validar se as funcionalidades foram implementadas corretamente. O processo teve dificuldades para separar os dois desenvolvimentos pois tinha componentes em comum, que a partir de um processo iterativo, foram organizando-se e permitindo separar os dois sistemas.

Não foi possível instanciar outro sistema no Decisioner durante o desenvolvimento do mestrado, mas atualmente encontra-se em andamento a implementação do SAD Nano-Tec

como segunda instancia do Framework Decisioner. O que permitirá generalizar ainda mais o framework e servir como um caso de uso adicional para validar as hipóteses em outros domínios.

Esta arquitetura foi avaliada por meio da instanciação do SAD SustenAgro, o que permite validar se realmente funcionam cada uma das características aqui descritas. No capítulo seguinte será apresentado o SAD SustenAgro, gerado como primeiro caso de uso deste Framework, e depois será apresentado o processo de avaliação que formaliza a avaliação deste sistema.

SAD SustenAgro

O Framework Decisioner organiza e gerencia os componentes gerais dos SADs de avaliação. Cada SAD tem particularidades que precisam ser definidas e ajustadas para configurar suas funcionalidades. As ontologias específicas do domínio e as DSL, explicadas nos capítulos anteriores fornecem o meio de definição dessas particularidades.

O SAD SustenAgro foi usado como a primeira instanciação do Framework Decisioner. Ele é composto por uma ontologia de domínio, DSL e elementos gráficos de design (ícones, imagens de fundo, etc.) que permitem instanciá-lo no Decisioner. Sendo seu principal componente a ontologia do domínio de avaliação da sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil..

Nest capítulo, serão explicadas a arquitetura, a metodologia e os componentes mais importantes do SAD SustenAgro. Serão feitas também algumas considerações sobre o processo de definição do SAD.

5.1 Arquitetura do SustenAgro

O SAD SustenAgro serviu de base para modelar e desenvolver os componentes que fazem parte do Decisioner. Por isso, o processo real de desenvolvimento dele foi muito mais complicado que uma simples instanciação de um framework. Ele envolveu diversas iterações para determinar o que deveria ser implementado como parte do framework e como parte da aplicação. Para simplificar o texto e facilitar o entendimento de como o framework Decisioner é usado para instanciar um SAD, as diversas versões do framework não serão discutidas.

Um SAD implementado usando o Decisioner tem os seguintes componentes:

1. Ontologia do domínio: ontologia que representa os conceitos do domínio. No caso do

SustenAgro, o domínio é a avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar, na região centro-sul. Essa ontologia é a base para o SAD pois permite estabelecer os conceitos fundamentais, que são utilizados pelo sistema. No caso do SustenAgro, eles são: indicadores, componentes de indicadores, índices, dimensões da sustentabilidade, recomendações e o método de avaliação.

2. DSL: programa descrevendo a configuração e comportamento do SAD. Ele especifica as features do domínio a serem usadas, as fórmulas do modelo e o aspecto e estrutura do relatório a ser gerado. No caso do SustenAgro, as features são os indicadores, as formulas calculam os índices de sustentabilidade e produtividade, e o relatório usa a Matriz e o Semáforo de Sustentabilidade.
3. Web components: o SustenAgro usa duas widgets específicas (além das oferecidas pelo Decisioner): a Matriz de Sustentabilidade e o Semáforo de Sustentabilidade. Ambas são implementadas como Web Components usando a biblioteca Polymer da Google.
4. Imagens e layout: Um conjunto de imagens e arquivos de layout (css) compõem o look-and-feel específico do SAD, incluindo seu logo.

5.2 Metodologia.

O conhecimento do domínio abrangido no sistema SustenAgro está em contínua evolução. Por isso, foi necessário usar uma metodologia que suporte mudanças na estrutura e nos dados do sistema, durante cada uma das fases do desenvolvimento. O desenvolvimento da ontologia de domínio SustenAgro foi realizada de forma ágil e modular, por meio de técnicas de prototipação rápida, abrangendo grupos de conceitos relacionados entre si.

O desenvolvimento da ontologia depende essencialmente da comunicação entre os especialistas de domínio e os modeladores. Dessa forma, foram definidos meios de comunicação (reuniões presenciais e virtuais) e de representação do conhecimento (modelos conceituais), que permitiram explorar o domínio.

Um dos meios, que permitiu uma melhor comunicação, foi o desenvolvimento de um mapa conceitual, por meio da ferramenta Cmap Tools¹, com a participação de um grupo de especialistas em modelagem de conhecimento. Esse processo começou em uma reunião da equipe na Embrapa Informática Agropecuária (situada situada na Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP). Nessa reunião, um especialista em desenvolvimento de ontologias da Embrapa forneceu treinamento sobre a metodologia para definir ontologias, desenvolvimento

¹ <http://cmap.ihmc.us/>

de mapas conceituais, com os principais conceitos, e desenvolvimento de modelos em OWL, para tornar esse conhecimento computável.

Após realizada a modelagem, o especialista do domínio definiu perguntas de interesse, com as quais os modeladores, eu e outro colega de mestrado, definiram consultas que o sistema deveria responder segundo os resultados esperados, conseguindo validar e ajustar o modelo até ter um protótipo confiável.

Na Figura 16 é apresentada a metodologia para desenvolver a ontologia SustenAgro, a qual teve vários ciclos de desenvolvimento nos quais foram integradas novas características.

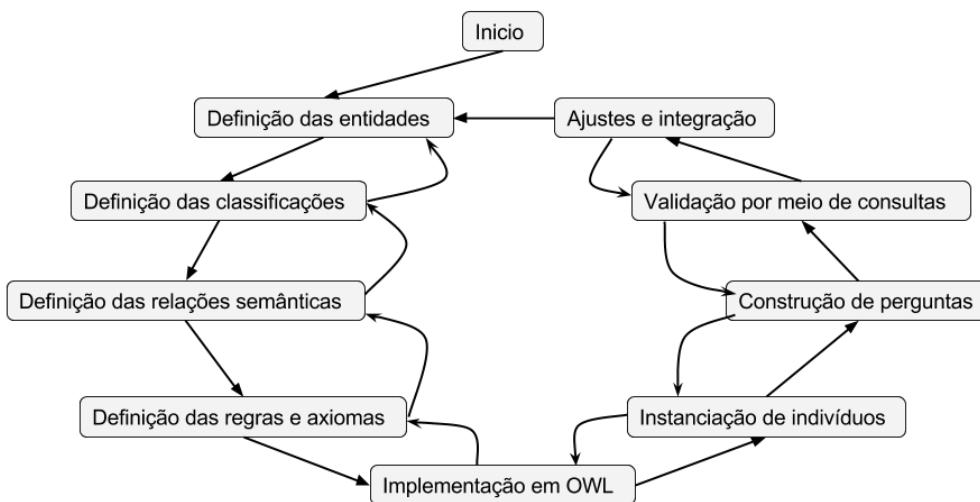


Figura 16 – Metodologia de definição da ontologia SustenAgro.

Um aspecto importante das ontologias é que elas fornecem um formato que adapta-se às mudanças do domínio e permite separar o conhecimento dos outros componentes do sistema.

A metodologia, que direcionou o desenvolvimento do SAD SustenAgro, foi a SCRUM Schwaber e Beedle (2002), que permitiu integrar práticas ágeis no desenvolvimento do sistema. Nesse contexto, o termo ágil refere-se ao desenvolvimento em tempos curtos e geração de protótipos facilmente adaptáveis às mudanças. Cada uma das etapas da metodologia foi realizada várias vezes e, por isso, foi necessário redesenhar os componentes. As metodologias ágeis são cíclicas e os protótipos mudam em cada ciclo para cumprir os novos requisitos.

A metodologia de desenvolvimento dos Web Components e das Web UI foi teve um enfoque baseado em User Centered Design, que permitiu integrar esses dois elementos para avaliar se as interfaces satisfazem os requisitos identificados.

O processo de design das web UI incluiu as seguintes etapas de levantamento de requisitos:

1. Descrição de User Stories: técnica de desenvolvimento ágil que permite descrever características do software desde a perspectiva do usuário. Ela fornece uma identificação dos usuários, das funcionalidades e explica o porque uma dita funcionalidade é necessária.
2. Descrição de Scenarios: técnica de desenvolvimento ágil que permite descrever detalhadamente as características das user stories.
3. Descrição de Storyboards: descreve cada uma das interações do usuário com o sistema em uma determinada tarefa, visualizando a interação como uma história em quadrinhos.
4. Descrição de *Mockups*: design do esboço da interface gráfica do sistema. Eles foram analisados pelos especialistas da Embrapa, para avaliar se atendiam às funcionalidades básicas descritas no levantamento dos requisitos.
5. Desenvolvimento de protótipo visual: A partir da validação dos Mockups, foi desenvolvido um protótipo da interface gráfica, com a finalidade de que os especialistas do domínio avaliassem se as interfaces cumpriam com os requisitos.

Cada uma dessas etapas de desenvolvimento, foram realizadas sempre em parceria com os especialistas do domínio. Isso foi importante para realizar o levantamento correto de requisitos tanto das web UI como das funcionalidades do SAD, identificadas a partir destas técnicas. Todo esse processo foi necessário pois não existia uma definição específica do que os especialistas precisavam.

5.3 Ontologia de domínio: SustenAgro

A ontologia SustenAgro representa o conhecimento necessário para suportar avaliação de sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. Ela representa conceitos por meio de entidades, classes, relações semânticas e axiomas. Esses elementos organizam e representam a realidade modelada.

Para definir a ontologia SustenAgro, realizou-se uma pesquisa das fontes de dados relacionadas com ontologias do domínio de avaliação de sustentabilidade em sistemas produtivos de cana-de-açúcar. Concluiu-se que não existem ontologias que suportassem esse domínio. Por isso, propôs-se desenvolver uma ontologia que utilizasse conceitos sobre avaliação de sustentabilidade e sistemas agrícolas. Essa ontologia representa conceitos gerais de conceitos identificados na literatura e conceitos particulares ao SustenAgro, identificados por [Cardoso \(2013\)](#). Deve-se destacar que a ontologia SustenAgro abrange um domínio bem específico: sustentabilidade de sistemas produtivos de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. Acreditamos

que essa é uma característica deste tipo de SAD. Modelamentos desse tipo tendem a ser específicos. No caso do SustenAgro, ele abrange apenas um só sistema produtivo em uma região específica.

A figura 17 representa um mapa conceitual com os principais conceitos modelados no SustenAgro e como eles estão relacionados entre si. As etiquetas, em cada relação dos conceitos, permitem identificar a relação entre os dois conceitos.

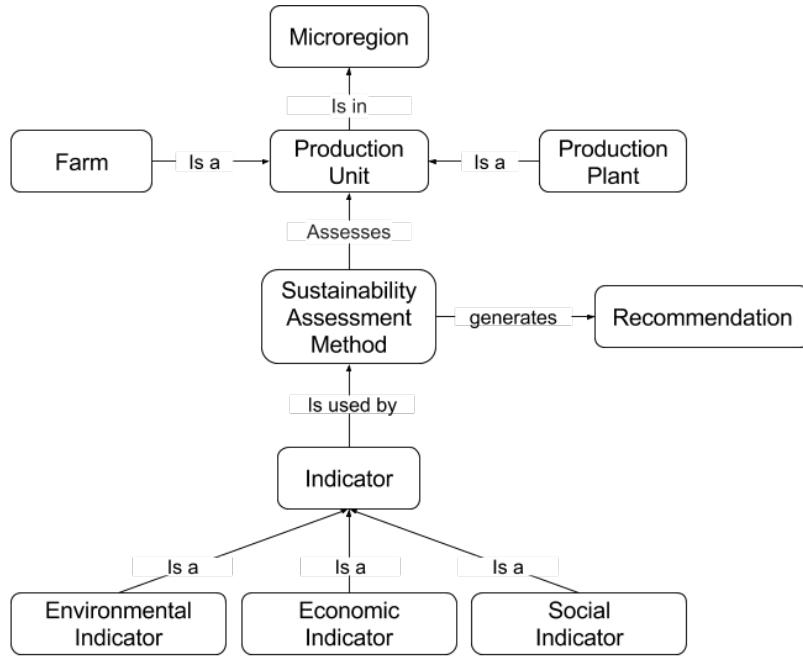


Figura 17 – Mapa conceitual da ontologia SustenAgro.

As ontologias da web semântica satisfazem o requisito de separar o conhecimento do domínio da lógica da computação. Essa separação permite que o desenvolvimento de cada parte seja feito de maneira independente e suportando conceitos importantes como a inferência, que são de grande importância no desenvolvimento de SAD.

Uma característica importante da ontologia SustenAgro é a recuperação da informação com significado semântico, permitindo que o sistema dê respostas às consultas complexas de interesse para os especialistas, além da integração com conhecimento externo existente em formatos da web semântica, como são os padrões RDF, OWL e vários sistemas de representação do conhecimento como dicionários, thesaurus e redes semânticas, o que permite aumentar as possibilidades de integração com diversas tecnologias e fornecer novas funcionalidades.

Para conseguir que a ontologia SustenAgro fosse computável, foi necessário defini-la na linguagem OWL (fornecendo uma representação comprehensível por humanos e computado-

res). O editor de ontologias Protégé² foi usado. O arquivo final foi exportado no formato RDF, para melhor compatibilidade com sistemas triple-stores (seção 3.1) (ALLEMANG; HENDLER, 2011). Triplestores suportam a realização de consultas complexas para permitir a resposta a perguntas de interesse aos usuários do sistema.

A ontologia do SustenAgro modela o conhecimento dos especialistas baseando-se na ontologia do Decisioner (Figura 10). Ela inclui a ontologia Decisioner e define seus conceitos a partir de conceitos gerais da Decisioner. Isso é obrigatório, pois o código do framework Decisioner entende os conceitos da ontologia SustenAgro apenas porque eles também são conceitos válidos derivados da ontologia Decisioner. Exemplos de conceitos/classes modelados são: *Production Unit, Microregion, Indicator, Categorical*. A partir dessas classes foi possível desenvolver o modelo de dados em OWL,

As classes da ontologia SustenAgro são relacionados por meio de *Object Properties* e *Data Properties* que permitem vincular semanticamente as instâncias das classes. A principal contribuição da ontologia do domínio é ser uma representação semântica do conhecimento de domínio, tanto para os usuários como para o sistema computacional, tornando-se um meio de comunicação entre os especialistas de domínio e os programadores.

Nas próximas seções, serão apresentadas as principais classes modeladas na ontologia do domínio de avaliação da sustentabilidade (SustenAgro).

Production Unit

Representa as organizações que podem ser avaliadas pelo sistema SustenAgro. Atualmente elas podem ser *Fornecedores de cana-de-açúcar* e / ou *Usinas processadoras de cana-de-açúcar*. Cada processo de avaliação requer dados que identifiquem as unidades produtivas através de propriedades que as definam. Existem propriedades obrigatórias como:

- hasAgriculturalProductionSystem: relaciona o sistema de produção agrícola em avaliação.
- hasAvailabilityOfEvaluationResults: relaciona o tipo de disponibilização dos resultados.
- hasSugarcaneSource: relaciona a origem da cana.
- harvestYear: define o ano da safra.
- canavialLongevity: define a longevidade do canavial.

A Figura 18 apresenta a modelagem da classe Production Unit, feita na ferramenta Protégé.

² <http://protege.stanford.edu/>

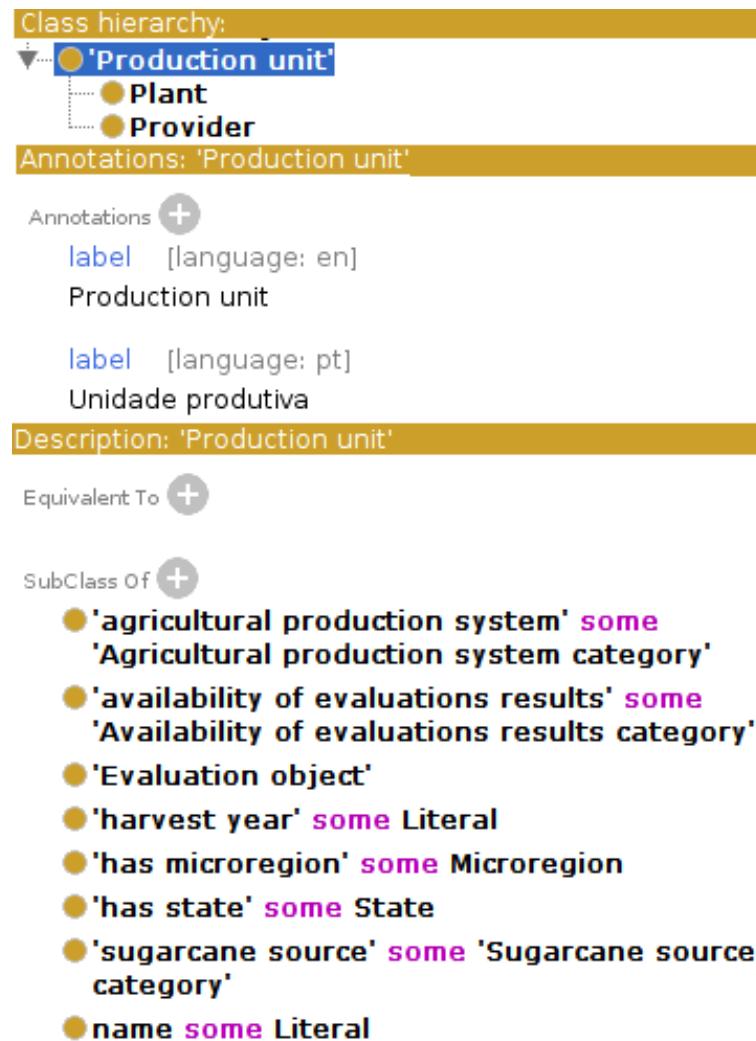


Figura 18 – Modelagem da classe de unidade produtiva (ProductionUnity).

Microregion

Representam os locais onde são localizadas as unidades produtivas. É permitido definir a microrregião onde as fazendas e usinas do sistema produtivo de cana-de-açúcar se localizam. Atualmente, a ontologia tem os 7 estados pertencentes ao centro-sul do Brasil e as 243 microrregiões dentro desses estados. Esses dados foram originalmente obtidos por consulta SPARQL à DB-pedia e integrados à ontologia.

A Figura 19 mostra a modelagem das localizações geográficas usadas no sistema SustenAgro, com algumas instâncias de *Microregion*.

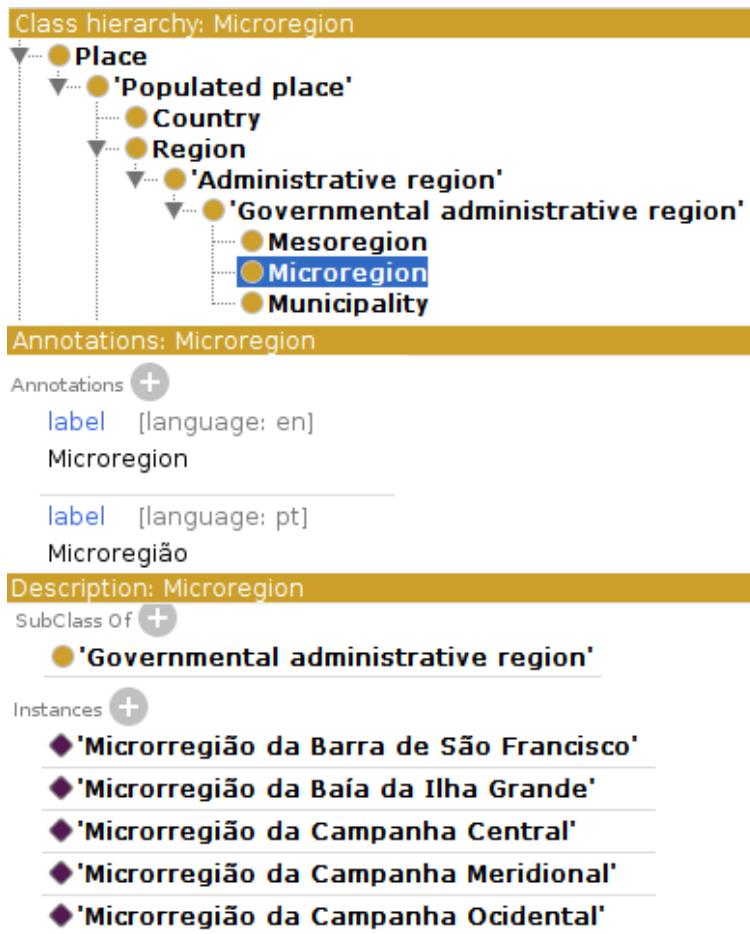


Figura 19 – Modelagem de microrregiões.

Indicator

Os indicadores são o principal componente da ontologia. Eles foram propostos por um grupo de especialistas de diversas áreas da produção agrícola e sustentabilidade (CARDOSO, 2013).

Eles representam as características das unidades produtivas que serão identificadas e quantificadas em cada processo de avaliação. Eles têm uma propriedade *Value* que quantifica a sustentabilidade do indicador.

Também permite a integração de conceitos, inclusive quando pertencem a domínios sem relação显而易见。Um exemplo disso é a inter-relação do conhecimento de sustentabilidade com conhecimento de interfaces gráficas de usuário, que suporta a geração de SAD para avaliação da sustentabilidade. O conhecimento foi dividido em duas ontologias, avaliação de sustentabilidade e outra dos componentes gerais de um SAD.

A Figura 20 apresenta a hierarquia dos indicadores, que está subdividida em Efficiency Indicator e Sustainability Indicator. Os Indicators têm a propriedade *has value* que estabelece um valor . Existe outra propriedade, *has weight*, que é opcional e estabelece um peso para o indicador.

A Figura 20 mostra o indicador intitulado *Adequacy of boilers*. Na propriedade *has value* ele tem uma restrição que limita os valores dessa propriedade a valores de uma lista de valores categóricos. A propriedade *has weight* também tem uma restrição que limita seus valores a instâncias da classe *Sugarcane process Optimization*.

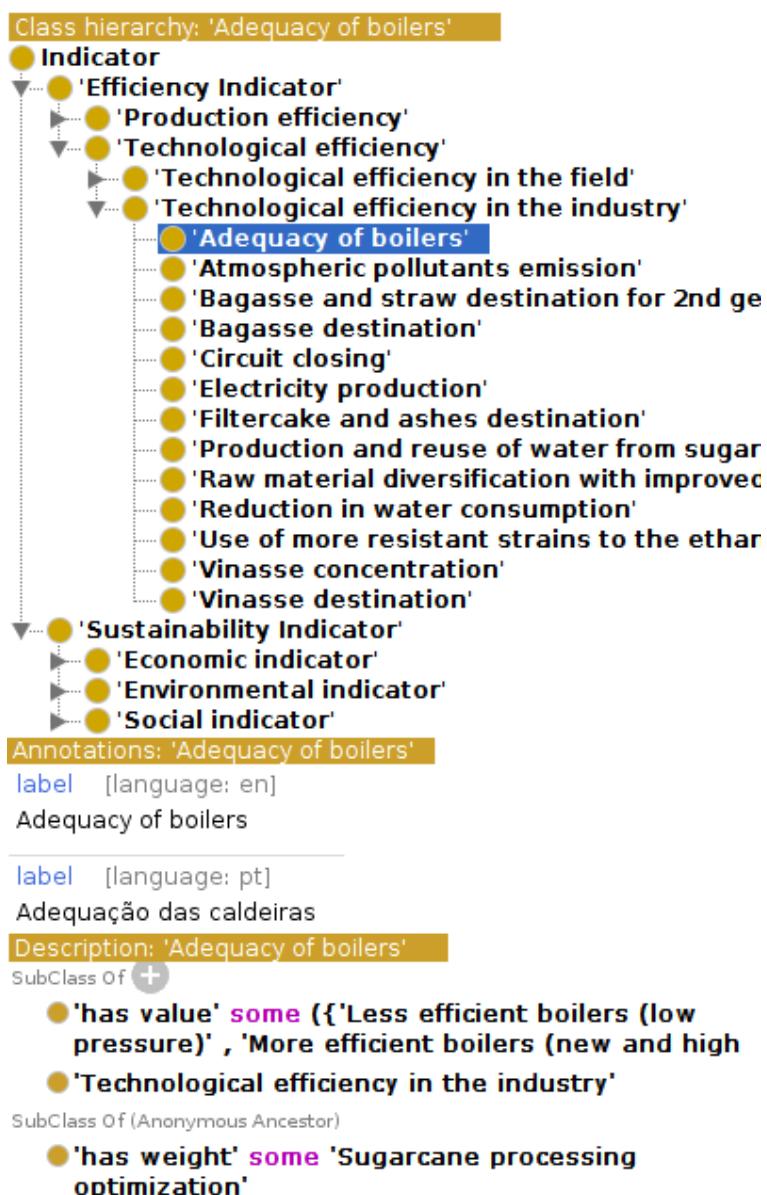


Figura 20 – Modelagem de indicador

Segundo a descrição do método de avaliação (Capítulo A), os indicadores de sustentabilidade são classificados em três dimensões de sustentabilidade: dimensão ambiental, dimensão social e dimensão econômica. Tendo as três uma participação equitativa no método de avaliação (KRAINES; GUO, 2011).

A Figura 21 representa a dimensão de indicadores ambientais, de onde foram definidos os seguintes conceitos:

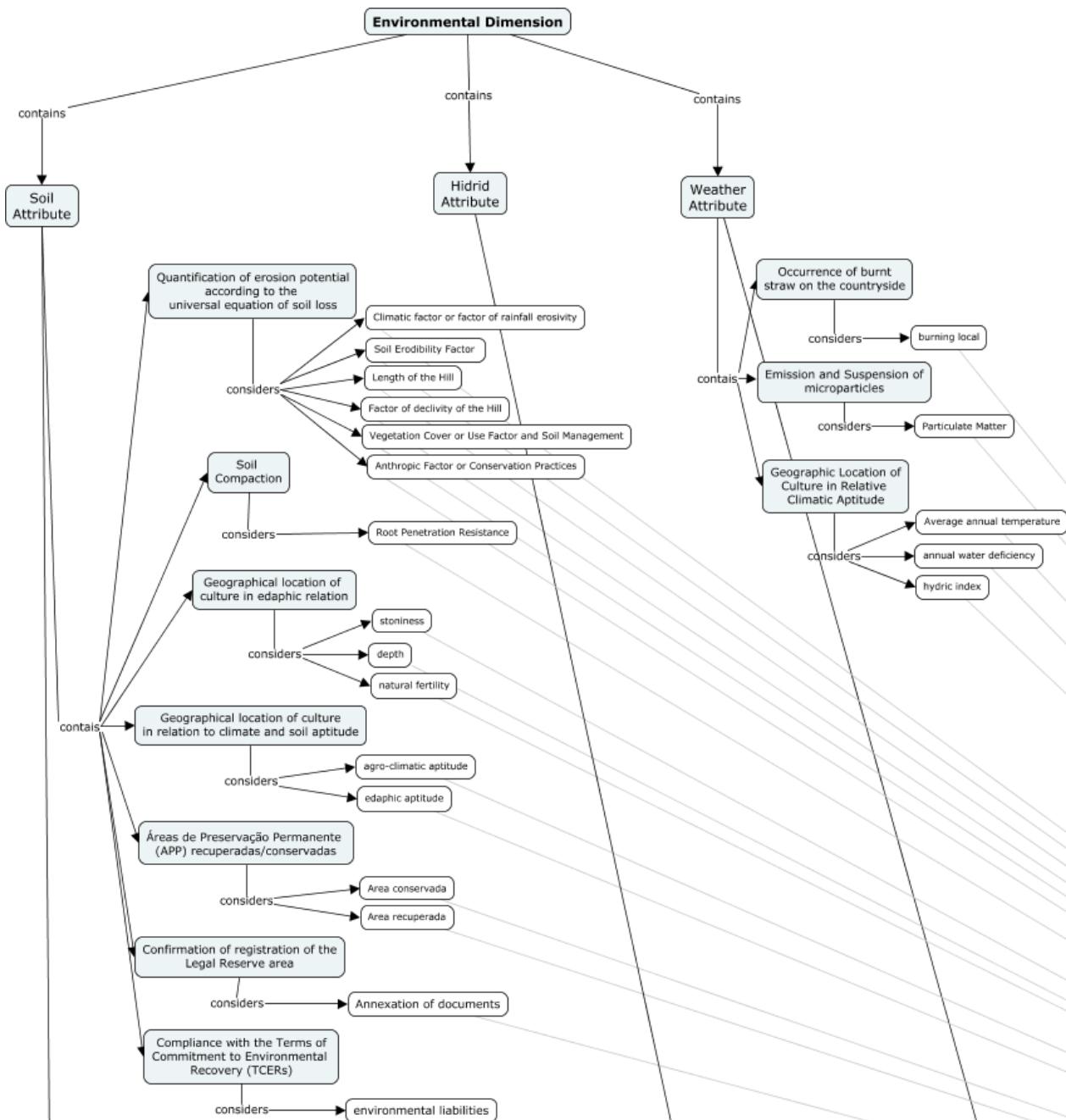


Figura 21 – Mapa conceitual - Dimensão Ambiental.

- Atributo solo (Soil Attribute): indicadores que avaliam os aspectos referentes às características do solo.
- Atributo hídrico (Hydric Attribute): indicadores que avaliam os aspectos referentes à disponibilidade e qualidade das fontes hídricas.
- Atributo clima (Weather Attribute): indicadores que avaliam os aspectos climáticos.

Nessa dimensão (ambiental), não foi possível identificar indicadores de tipo hídrico. Não existe consenso entre os especialistas consultados sobre quais são os aspectos mais relevantes deles para a avaliação da sustentabilidade, porém, é um aspecto fundamental para trabalhar nas futuras etapas de pesquisa.

A Figura 22 mostra a dimensão social, onde são definidos os seguintes conceitos:

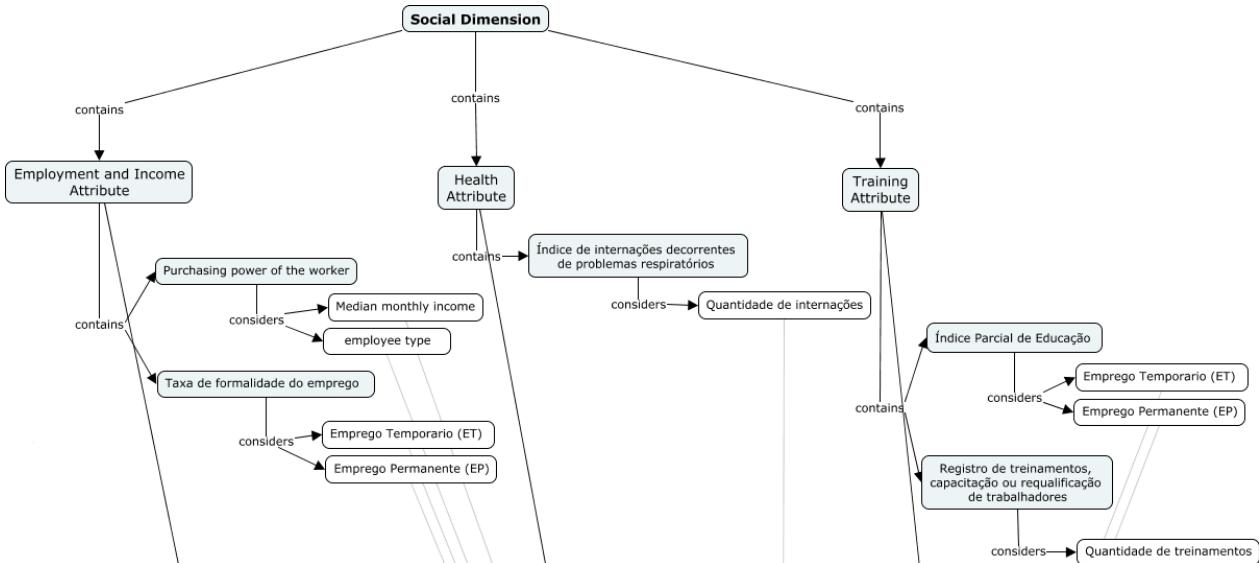


Figura 22 – Mapa conceitual - Dimensão Social.

- Atributo emprego e renda (Employment and Income Attribute): indicadores que avaliam os aspectos referentes à mão de obra.
- Atributo saúde (Health Attribute): indicadores que avaliam os aspectos de segurança dos trabalhadores.
- Atributo treinamento (Training Attribute): indicadores que avaliam os aspectos da capacitação dos trabalhadores.

Nessa dimensão (Social), é importante reconhecer que as unidades produtivas, sejam do tipo fazendas ou usinas, têm vínculos com pessoas tanto internamente como externamente. Por

isso, é importante refinar os indicadores para incluir a população externa à unidade produtiva que é afetada pelas práticas produtivas.

A Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) forneceu dados econômicos das principais usinas do estado de São Paulo, que permitiram definir a dimensão econômica das unidades produtivas na ontologia de domínio.

As Figuras 23 e 24 apresentam a dimensão econômica, onde foram definidos os seguintes conceitos:

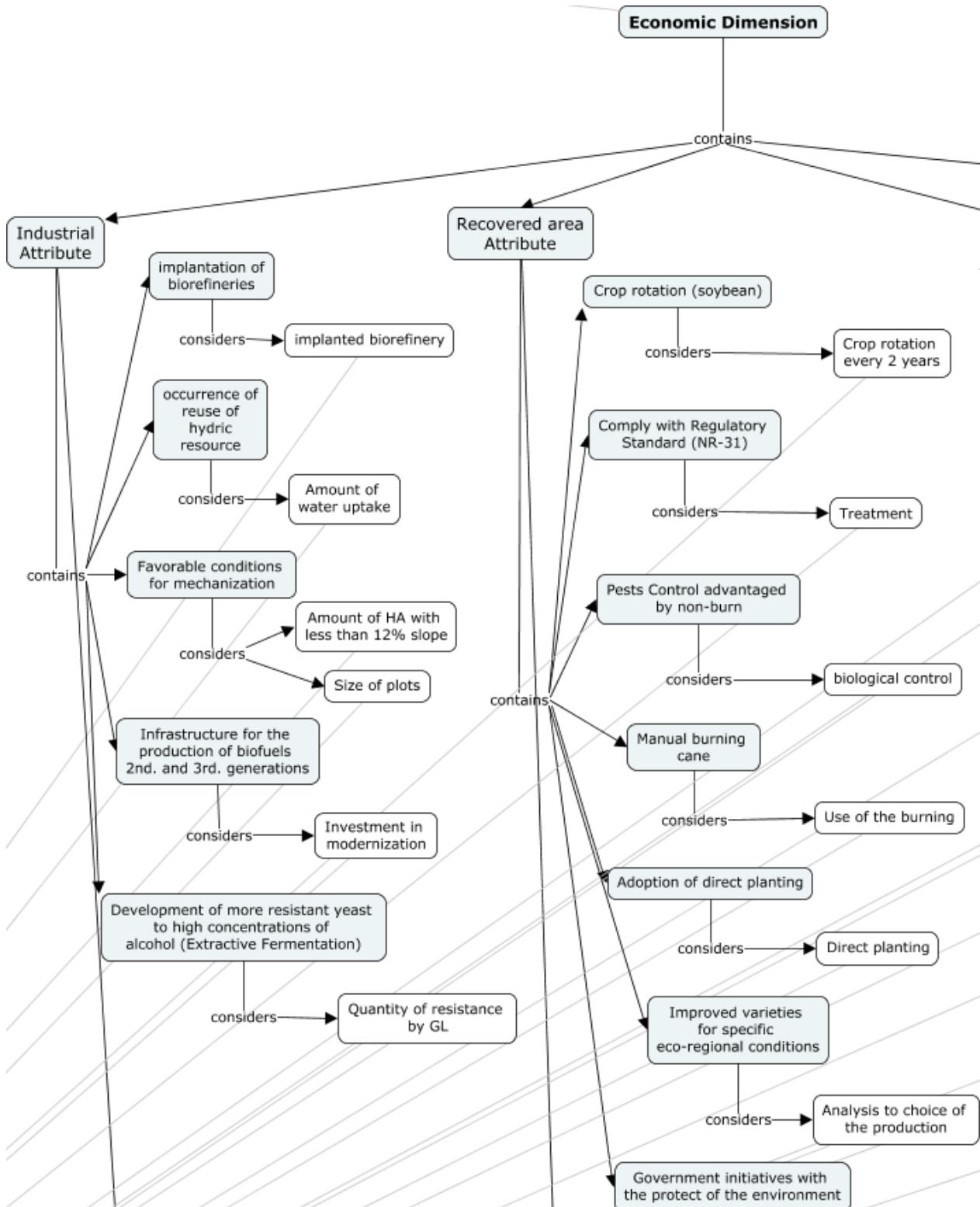


Figura 23 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica (primeira parte).

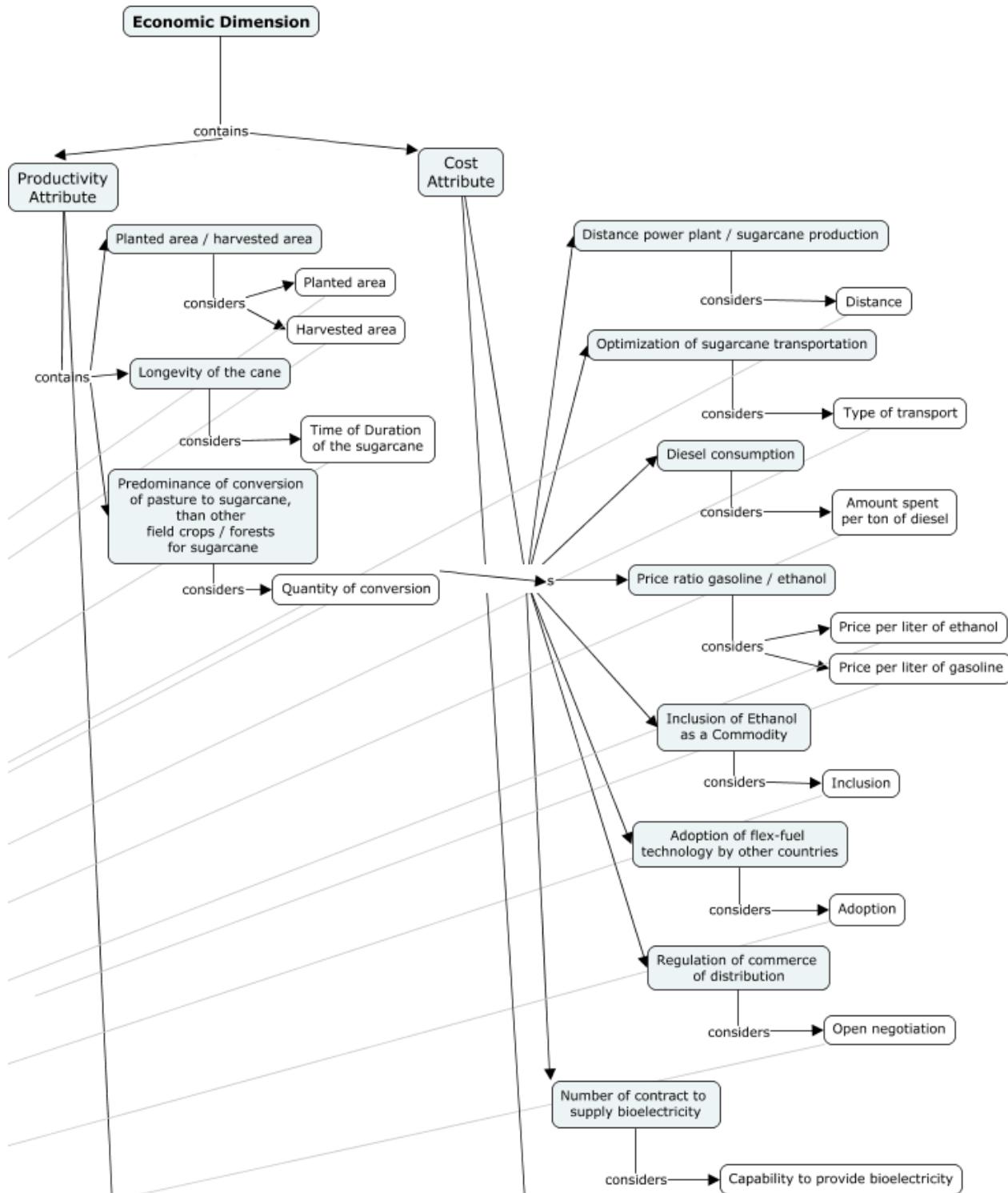


Figura 24 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica (segunda parte).

- Atributo industrial (Industrial Atribute): indicadores que avaliam os aspectos industriais.
- Atributo área recuperada (Recovered Area Atribute): indicadores que avaliam os aspectos

da área produtiva e das técnicas produtivas.

- Atributo produtividade (Productivity Attribute): indicadores que avaliam os aspectos dos produtos e dos processos produtivos.
- Atributo custo (Cost Attribute): indicadores que avaliam os aspectos dos custos da produção.

Cada uma das três dimensões deve ser avaliada equitativamente para gerar um resultado coerente com a teoria da sustentabilidade agrícola (TILMAN et al., 2002). A Figura 25 mostra os conceitos envolvidos na avaliação da sustentabilidade, fazendo uma integração entre os indicadores e o método de avaliação. Cada um dos indicadores tem componentes de indicadores que serão processados pelo método de avaliação, permitindo quantificar a sustentabilidade.

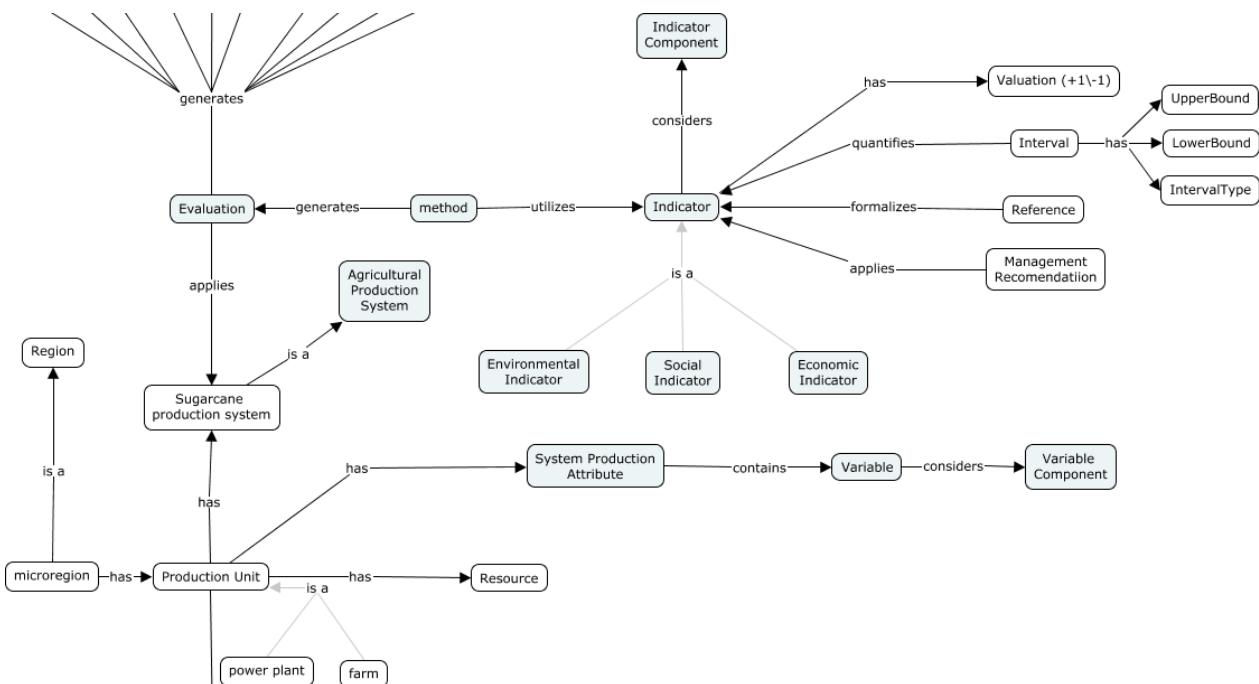


Figura 25 – Mapa conceitual - Método de Avaliação.

As dimensões da sustentabilidade permitiram organizar os indicadores, levando essa organização desde os modelos de mapas conceituais, às ontologias, método de avaliação e, finalmente, até a representação dos resultados nas web UI dos SADs.

Categorical

O conceito Categorical representa os possíveis Value que um *Indicator* ou *Variable* pode ter na forma de categorias (por exemplo, Existe e Não Existe). Um Value também pode

ser Real ou Inteiro. Na verdade, a classe Categorical é definida na ontologia Decisioner, mas a SustenAgro cria diversas classes filhas para definir uma série de valores categóricos.

Cada subclasse de Categorical é composta por um conjunto finito de elementos ou valores. Cada valor é modelado como indivíduo da classe, permitindo assim, restringir as opções de instanciação de cada indicador.

Na Figura 26, é apresentada a classe *Value* e suas subclasses, tanto *Categorical* para conjunto finito de valores e *Real* para valores numéricos. Um exemplo de classe categórica seria a *Yes/No* que representa os valores de sim e não e é composta pela lista de indivíduos *Yes* e *No*.

Cada individuo da classe *Value* tem a propriedade *as number* que relaciona a ele um valor numérico. Esse valor define um critério de comparação entre os indivíduos da mesma classe. Ele é usado nas fórmulas do método de avaliação.

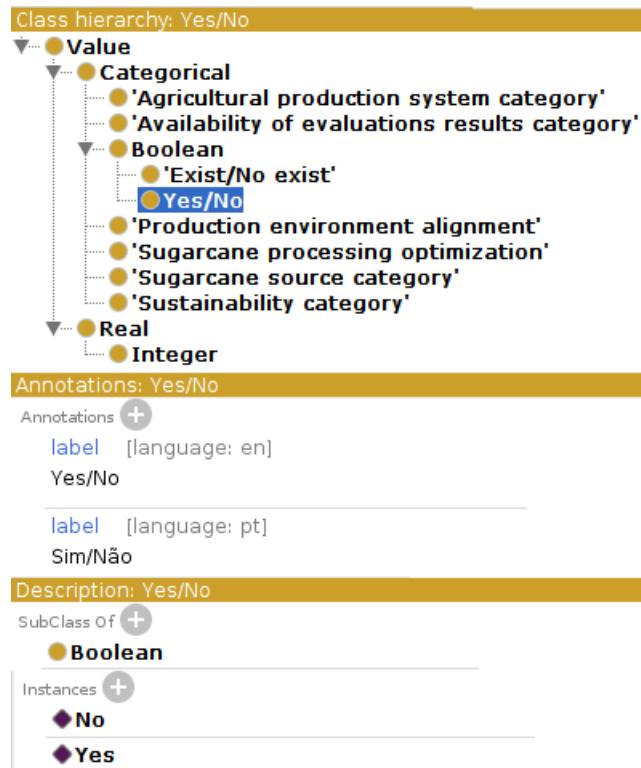


Figura 26 – Modelagem de Value

5.4 SustenAgro Web UI

O design das interfaces gráficas e desenvolvimento dos web componentes foram realizados por meio da várias técnicas de levantamento de requerimentos para especificar as funci-

onalidades que os especialistas precisavam do sistema SustenAgro. Foram usadas as seguintes técnicas: User Stories, Scenarios, Storyboard, Mockups e protótipo de interface gráfica.

Na fase inicial, foram definidos os perfis de usuários do SAD SustenAgro, inicialmente definiram-se os perfis descritos a seguir:

- Administrador: usuário com permissões para editar Ontologias, DSL e web UI. Ele é o responsável pela administração do SAD e tem todas as permissões do sistema.
- Especialista de domínio: especialista em sustentabilidade ou afins, com permissões para recuperar e gerenciar informações das avaliações, gerar reportes e mudar os conceitos relacionados com os indicadores e método de avaliação.
- Usuário final: usuário padrão do sistema que tem permissões para realizar avaliações de sustentabilidade em cana-de-açúcar e de gerenciar os dados cadastrados por ele.

No SAD SustenAgro v1.0, foi removido o perfil especialista, ficando apenas os perfis administrador e usuário final. As funções desse perfil foram incluídas no perfil administrador.

As técnicas realizadas para desenvolver as web UI, são descritas a seguir.

User Stories

Histórias de usuário são uma técnica para descrever, de uma forma curta e simples, as características do sistema a partir da perspectiva do usuário ou cliente do sistema, gerando uma definição de alto nível de um requisito. O padrão é: como um “tipo de usuário”, eu quero atingir “algum objetivo” para “alguma finalidade”.

Na aplicação dessa técnica foram obtidas as seguintes histórias:

1. O usuário poderá identificar e cadastrar a localização geográfica e a área da sua lavoura (definir região geográfica do IBGE, latitude e longitude - a partir do Google Maps).
2. O usuário poderá identificar e cadastrar a microrregião a que pertence a sua lavoura. O sistema fará uma sugestão de cadastro a partir dos dados da localização geográfica.
3. O usuário deverá preencher o estado de cada indicador específico nas dimensões ambiental, econômica e social, devendo adaptar-se às condições das regiões e microrregiões do Brasil.
4. O usuário poderá obter o resultado dos índices, segundo a informação preenchida e a fórmula de agregação dos indicadores.
5. O usuário poderá armazenar a informação dos indicadores para futuras consultas.

6. O usuário poderá acrescentar indicadores que considere importantes para a análise. Deve-se estabelecer regras para essa funcionalidade de tal modo que os novos indicadores (criados pelos usuários) sejam recuperáveis de um modo separado dos indicadores cadastrados no sistema.
7. O sistema deve fornecer um cronograma de avaliação, sendo recomendado realizar a avaliação depois de cada safra.

O usuário pode empregar a metodologia de avaliação caso a caso: possibilitando que o usuário selecione quais indicadores vai utilizar, podendo recomendar limiares mais adequados para a realidade dele e também inserir novos indicadores/limiares. Finalmente, o usuário deverá ser informado da importância dos processos de avaliação, exemplo:

- “A crescente demanda de países desenvolvidos por produtos com garantia de origem tem induzido aumento das certificações nas usinas no Brasil (ALVES et al., 2008).”
- A certificação tem sido uma importante forma de diferenciação de commodities agrícolas, facilitando seu acesso aos mercados protegidos dos países desenvolvidos.
- A caracterização climática, aliada aos detalhes de fertilidade e manejo do solo (quantificação edafoclimática), são essenciais para a determinação das regiões aptas ao cultivo de culturas de interesse comercial (CIIAGRO, 2009).

Depois do ingresso da informação sobre os indicadores, o usuário receberá recomendações classificadas sobre práticas de sustentabilidade recomendadas com sua argumentação, exemplo:

- (Ambiental) “O sistema de plantio direto da cana-de-açúcar sobre leguminosas proporciona maiores teores foliares de N e K na cana do que o plantio convencional (JÚNIOR; COELHO, 2008)”.
- (Ambiental) Segundo Leme (2005), haveria redução de 36% na emissão de gases do efeito estufa (GEE) se a palha fosse queimada nas caldeiras das usinas e destilarias, ao invés de ser queimada no campo.
- (Ambiental) A queima da cana aumenta a erosão do solo e a poluição do ar e reduz a qualidade da matéria-prima (LINS; SAAVEDR, 2007).
- (Ambiental) Quando a cana não é queimada, proliferam, nos canaviais, roedores silvestres originários de fragmentos florestais. Esses roedores podem transmitir o Hantavírus através da urina e contaminar cortadores de cana, causando uma síndrome respiratória e cardíaca, a pneumocitose, podendo levar à morte.

- (Ambiental) Quando não há queima da cana é comum, também, o aumento do ataque de cigarrinhas, com perdas significativas de produção (ANDRADE; DINIZ, 2007).
- (Econômico) A utilização das colheitadeiras reverte-se em aumento da produtividade e da qualidade da matéria-prima, bem como em diminuição dos custos da produção agrícola, que representam entre 50% e 60% em relação ao custo total (SCOPINHO, 1995).
- (Econômico e Social) A utilização das colheitadeiras em cooperativa possibilita a soma das áreas de produtores próximos possibilitando a mecanização em propriedades com restrição para mecanização.
- (Econômico) Restrições físicas da propriedade (menos de 500 ha de área com declividade inferior a 12% e talhões menores que 800 metros) dificultam a mecanização.

Scenarios

É uma técnica que permite a descrição das funcionalidades do sistema desde a perspectiva do usuário ou cliente, realizando uma descrição detalhada de cada um dos passos dos usuários no sistema para completar uma tarefa. A seguir serão apresentadas as 8 histórias de usuários do SAD SustenAgro com os cenários associados:

História de usuário #1: “O usuário poderá identificar e cadastrar a localização geográfica e a área da sua lavoura (definir região geográfica do IBGE, latitude e longitude - a partir do Google Maps).”

1. O usuário ingressa na conta dele, através do sistema web SustenAgro em <<http://sustenagro.embrapa.br>>, e o sistema apresenta a tela “Home”
2. O usuário seleciona a aba “unidades produtivas” e dá um click em “cadastrar unidade produtiva”, o sistema apresenta a tela de cadastro de unidades produtivas, onde tem um mapa do Google Maps
3. O usuário seleciona no mapa um ponto que identificará a localização da unidade produtiva, se ele quiser, também é possível marcar a área da lavoura para que o sistema possa ter dados mais específicos para o processo de avaliação de sustentabilidade. Uma vez terminado, o usuário dá um click no botão “próximo” e o sistema cadastrá a informação preenchida.

História de usuário #2: “O usuário poderá identificar e cadastrar a microrregião a que pertence a unidade produtiva dele, por meio de uma sugestão que o sistema faz com os dados da localização geográfica.”

1. O usuário poderá fazer a “História de usuário #1” ou entrar no sistema e continuar com o cadastro da unidade produtiva de onde ele tenha parado. O sistema apresentará uma tela com sugestões de microrregiões.
2. O usuário poderá escolher a microrregião, onde esteja localizada a unidade produtiva, e salvá-la no sistema por meio do botão “próximo”.

História de usuário #3: “O usuário deverá preencher o estado de cada indicador específico nas dimensões ambiental, econômica e social. Esses indicadores devem adaptar-se às condições das regiões e microrregiões do Brasil, da mesma forma as faixas de limiares de sustentabilidade foram definidas.”

1. O usuário poderá fazer a “História de usuário #2” ou entrar no sistema e continuar com o cadastro dos indicadores de onde ele tenha parado. O sistema apresentará uma tela com três abas que contém os controles que permitirão fazer o cadastro dos indicadores nas dimensões ambiental, econômica e social.
2. O usuário dá um click na primeira aba e começa a preencher os dados dos indicadores ambientais, principalmente os limiares que identificam o estado do indicador. A interface também permite eliminar ou acrescentar indicadores específicos, por parte dos usuários (funcionalidade que é explicada na “Hstória de usuário #4”).
3. O usuário preenche os dados das outras duas dimensões e o sistema salva as mudanças.

História de usuário #4: “Permitir o emprego da metodologia para avaliação caso a caso: possibilitar que o usuário selecione quais indicadores vai utilizar. Dentro dos indicadores, ele pode recomendar limiares mais adequados para a sua realidade, também pode inserir novos indicadores/limiares.”

1. O usuário poderá fazer a “História de usuário #3” ou entrar no sistema e continuar na tela de cadastro de indicadores e, quando acontecer que o usuário precise de um indicador que não seja oferecido pelo sistema, o usuário poderá acrescentá-lo por meio do botão “acrescentar indicador”
2. O usuário dá um click no botão “acrescentar indicador” e lhe é apresentada uma interface de entrada, onde ele deverá cadastrar o título, a descrição, os limiares, a medida do manejo e a justificativa desse indicador. Em seguida preencher o estado do indicador. O sistema salva esses dados nessa dimensão.
3. O usuário também poderá eliminar alguns indicadores segundo seu critério.

História de usuário #5: "O usuário poderá obter o resultado dos índices segundo a informação preenchida e a formula de agregação dos indicadores."

1. Depois de terminada a "História de usuário #4", o sistema fará a avaliação, que foi definida no sistema pelos especialistas.
2. O resultado da avaliação será cadastrado no sistema com informações sobre a metodologia utilizada.
3. A metodologia de avaliação pode ser atualizada pelos administradores para uso em avaliações futuras.

História de usuário #6: "O usuário poderá armazenar a informação dos indicadores para futuras consultas."

1. O usuário preenche alguns indicadores nos formulários do SustenAgro.
2. Esses dados serão salvos quando o usuário mudar de formulário ou quando der um click no botão "próximo".

História de usuário #7: "O usuário poderá acrescentar indicadores que considere importantes para sua análise, devem-se estabelecer regras para essa funcionalidade de tal modo que os novos indicadores (criados pelos usuários) sejam recuperáveis de um modo separado dos indicadores cadastrados no sistema."

1. Quando o usuário estiver preenchendo os indicadores gerados pelo sistema, o sistema fornecerá um conjunto de controles que permitam a inclusão de um novo indicador. Esse novo indicador será definido pelo próprio usuário baseado na sua experiência na área.
2. O sistema armazenará esse novo indicador com uma classificação especial que permita sua identificação e separação dos outros indicadores.
3. O usuário poderá preencher os dados do novo indicador, para que sejam inclusos na avaliação de sustentabilidade.

História de usuário #8: "Cronograma de avaliação, depois de cada safra."

1. Depois de fazer o cadastro da fazenda e das culturas que são plantadas nela, o sistema poderá identificar quando termina cada safra, gerando um alerta para que o usuário faça o processo de avaliação nessa data.
2. O usuário lerá o alerta e poderá fazer o processo de avaliação de sustentabilidade.

Storyboard

Storyboards são similares aos cenários. Elas ilustram a interação necessária para atingir um objetivo sem utilizar uma lista de passos. A interação é visualizada por meio de uma história em quadrinhos.

Essa representação permite uma visão holística da interação do usuário, com ênfase nos aspectos funcionais da interação e não nos aspectos da interface de usuário. A seguir, são apresentados os textos das storyboard dos processos identificados:

A Figura 27 apresenta o processo de cadastro da localização da unidade produtiva, para conseguir vincular dados a partir da localização geográfica.

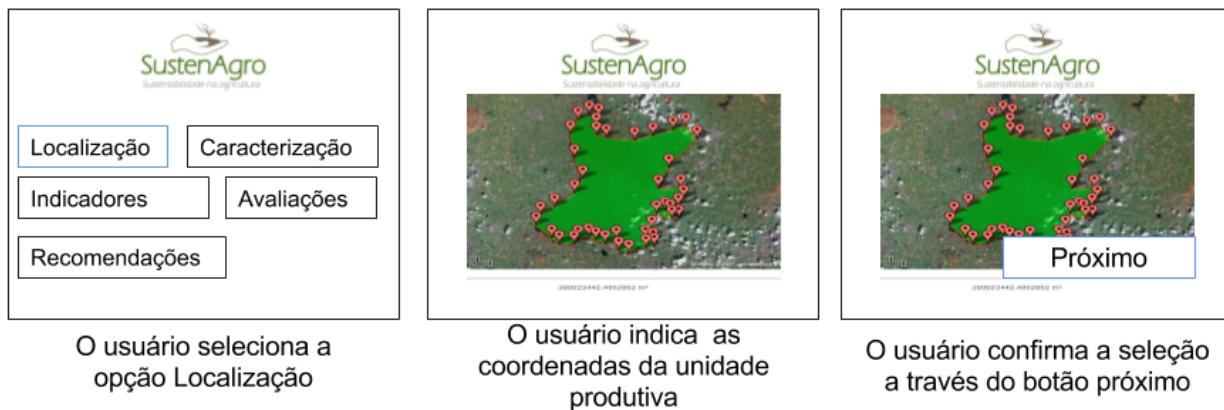


Figura 27 – StoryBoard definição da localização.

A Figura 28 apresenta o formulário de seleção da microrregião que faz parte da localização descrita no storyboard anterior. Essa informação é importante para caracterizar a unidade produtiva.



Figura 28 – StoryBoard seleção da unidade produtiva.

A Figura 29 apresenta o esquema do formulário de preenchimento dos indicadores que permite cadastrar uma avaliação, dito formulário é adaptável a vários tipos de dados dos indicadores, permitindo construir interfaces amigáveis para os usuários.

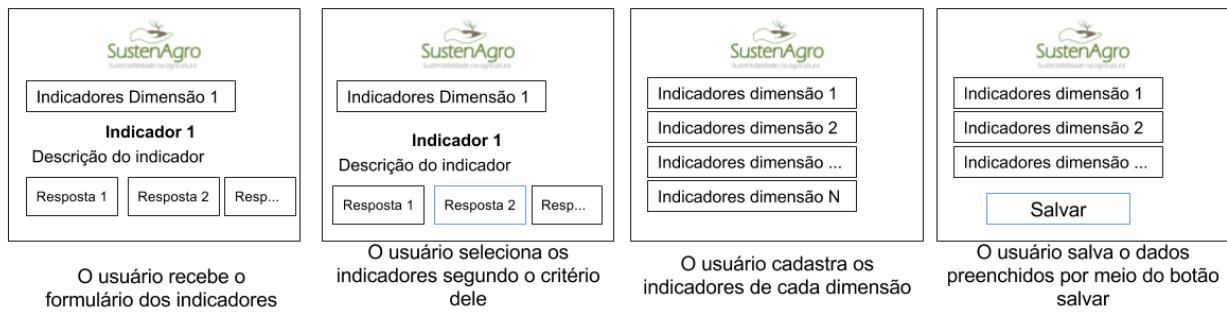


Figura 29 – StoryBoard mostrando o preenchimento dos indicadores.

A Figura 30 apresenta o processo de avaliação para uma unidade produtiva, segundo o método Sustenagro. Ele vai processar os indicadores preenchidos para gerar uma análise.

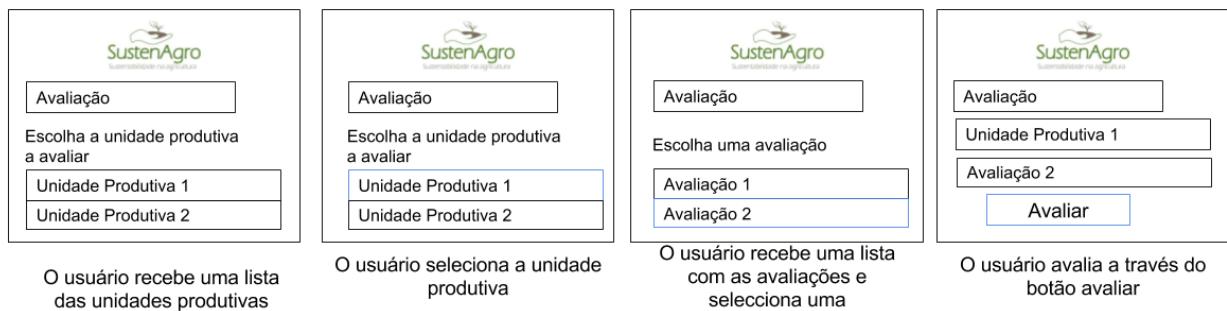


Figura 30 – StoryBoard sobre a avaliação de unidade produtiva

A Figura 31 apresenta o formulário de definição de novos indicadores, por parte dos usuários do sistema. Eles permitem a integração de novos conceitos ao sistema.



Figura 31 – StoryBoard para cadastro de novo indicador.

A Figura 32 apresenta o relatório resultante do processo de avaliação. Ele é composto pelos índices, uma tabela dos dados cadastrados , a matriz de sustentabilidade e as recomendações

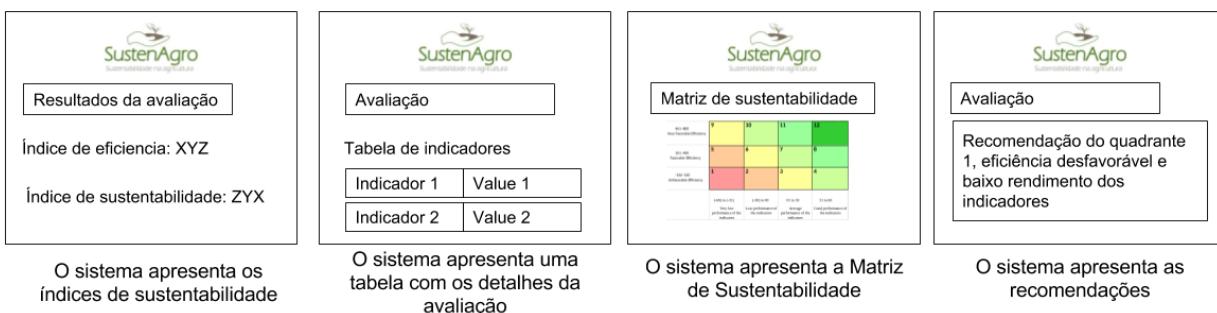


Figura 32 – StoryBoard mostrando a apresentação de resultados

Mockups das Interfaces do SustenAgro

Estes Mockups permitiram criar uma representação visual das interfaces do sistema, com suas widgets, para ajudar na sua avaliação por parte dos especialistas do domínio. O desenvolvimento dos mockups foram feitos com a ferramenta Moqups³.

A Figura 33 mostra uma interface gráfica web do Home. A interface mostra uma descrição do sistema, e as principais abas, entre elas a aba de Ferramenta que permite iniciar o processo de avaliação de sustentabilidade.

³ Moqups <<https://moqups.com/>>



Figura 33 – Mockup da tela inicial do SustenAgro.

A Figura 34 apresenta os passos do processo de avaliação, na ordem representada pela numeração das abas. realizando o cadastro da localização, da cultura, das tecnologias usadas, da caracterização do sistema produtivo, a tela dos indicadores e das recomendações. A tela apresentada corresponde ao formulário de cadastro dos indicadores, que permite cadastrar o valor correspondente a cada indicador.

Indicador	Descrição	Valor	Unidades
Indicador 1	...	10	...
Indicador 2	...	-10	...
Indicador 3	...	10	...
Indicador 4	...	10	...
Indicador 7	...	10	...
Indicador 8	...	0	...
Indicador 9	...	0	...
Indicador 10	...	-10	...
Novo Indicador	Nova Descrição	-10	...

Figura 34 – Mockup da tela de indicadores do SustenAgro.

Protótipo da Interface Gráfica do SustenAgro

O protótipo funcional da interface gráfica do SustenAgro está disponível nos servidores do laboratório Intermídia do ICMC-USP⁴. Na Figura 35 é apresentada a página inicial do protótipo.

⁴ <http://biomac.icmc.usp.br:8080/sustenagro/>



Figura 35 – Protótipo do SustenAgro – Home Page.

Nessa tela pode-se observar o texto explicativo da ferramenta e as abas de “Início”, “Ferramenta” e “Contato”. A opção “Ferramenta” permite iniciar o processo de avaliação de sustentabilidade.

Uma vez cadastrada uma unidade produtiva, disponibiliza-se a opção de criar nova avaliação. Essa, ação vai gerar a tela da Figura 36, que permite visualizar os indicadores para que os usuários preencham cada um, segundo a realidade da unidade produtiva em avaliação. Cada indicador tem várias opções de resposta que estão ligadas a valores que quantificam a sustentabilidade. Esses valores estão definidos na ontologia de sustentabilidade (a ontologia SustenAgro) e são usados nas fórmulas para gerar os índices de sustentabilidade.

Na Figura 36, é apresentado o formulário dos indicadores de eficiência. Eles são subdivididos em eficiência de produção e tecnológica. Na Figura 36, é mostrado o indicador Manejo,

como exemplo. Um tipo de manejo foi escolhido e o peso desse indicador foi declarado como direto. Esses valores serão usados nas fórmulas da avaliação da sustentabilidade.

The screenshot shows the SustenAgro web application interface. At the top, there is a navigation bar with the logo 'SustenAgro', followed by links for 'Apresentação', 'Avaliação', 'Administração', and 'Contato'. A user profile icon 'admin' is also present. Below the navigation bar, there are two main tabs: 'Farm' and 'Análises', with 'Análises' being the active tab. Under 'Análises', there are two sub-tabs: 'Avaliação da eficiência e custo' and 'Avaliação da sustentabilidade', with 'Avaliação da sustentabilidade' being the active tab. This tab is further divided into three sections: 'Eficiência da produção', 'Eficiência tecnológica', and 'Eficiência tecnológica no campo'. The 'Eficiência da produção' section is currently selected. It contains a heading 'Manejo' with a 'Justificativa' and 'Apagar' button, and a list of radio buttons for different management practices. One option is selected: 'Preparo / plantio / manutenção do canavial (automatizados ou empregando sistemas de informação? Por ex sensoriamento remoto ou agricultura de precisão)'. Below this is a dropdown menu labeled 'Peso' with the value 'Direta'. The next section, 'Mecanização da cana', has a similar structure with a heading, 'Justificativa' and 'Apagar' buttons, and a list of radio buttons for mechanization levels. The third section, 'Organização de produtores ou usinas', also follows this pattern. The entire interface is set against a background of stylized agricultural fields.

Figura 36 – Cadastro de indicadores

A partir dos dados cadastrados, são gerados os resultados do sistema. Eles consistem na planilha de eficiência e custo, na planilha da sustentabilidade e o relatório do sistema. As planilhas permitem visualizar os atributos dos indicadores e a tela de relatório apresenta a matriz de sustentabilidade, onde são relacionados os índices de eficiência e de sustentabilidade. O relatório é apresentado na Figura 37.

The screenshot shows a web-based application interface for sustainability assessment. At the top, there are three tabs: 'Assessment' (highlighted in blue), 'Results' (highlighted in orange), and 'Efficiency and cost spreadsheets'. Below these tabs, there are three sub-sections: 'Sustainability assessment', 'Environmental Dimension', and 'Economic Dimension'. The 'Environmental Dimension' section contains a table with columns: 'Indicator', 'Relevance', 'Registered value', 'Value', and 'Total value'. One row is shown: 'Absolute emissions of greenhouse gases (GEE) or associated gases' with a relevance of 3.0, registered value 'Meets determined values', value 1.0, and total value 3.0. The 'Economic Dimension' section also contains a similar table. Below the tables, there are sections for 'Justification' which include tables for 'Indicator' and 'Index', and another section for 'Justification' under 'Economic Dimension'.

Indicator	Relevance	Registered value	Value	Total value
Absolute emissions of greenhouse gases (GEE) or associated gases	3.0	Meets determined values	1.0	3.0

Indicator	Justification
Absolute emissions of greenhouse gases (GEE) or associated gases	

Index	Total value
Environmental index	3.0

Indicator	Relevance	Registered value	Value	Total value
Have fuel stocks in order to regulate supply / demand and prices of ethanol (buffer stocks)	2.0	Yes	1.0	2.0

Indicator	Justification
Have fuel stocks in order to regulate supply / demand and prices of ethanol (buffer stocks)	

Figura 37 – Planilhas do resultado da avaliação

5.5 Web Components

Foram desenvolvidos dois Web Components específicos para o SustenAgro. Eles geram gráficos específicos do relatório solicitado pelos especialistas da Embrapa Meio Ambiente

Matriz de Sustentabilidade

Com a finalidade de suportar a geração de relatórios, no formato definido pelos especialistas do domínio, foi necessário implementar dois Web Component específicos. Um deles

foi a widget intitulada Matriz de Sustentabilidade. Ela é composta por dois eixos que correspondem ao índice de eficiência, eixo Y, e ao índice de sustentabilidade, eixo X. Os índices tem magnitudes que são divididas em segmentos que permitem dividir a área em doze quadrantes da sustentabilidade. Cada avaliação realizada com o método SustenAgro gerará dois índices que são localizados em um quadrante da matriz de sustentabilidade. Cada quadrante está relacionado com uma recomendação específica. A Figura 44 mostra a implementação desse Web Component, mostrando resultados reais de uma avaliação.

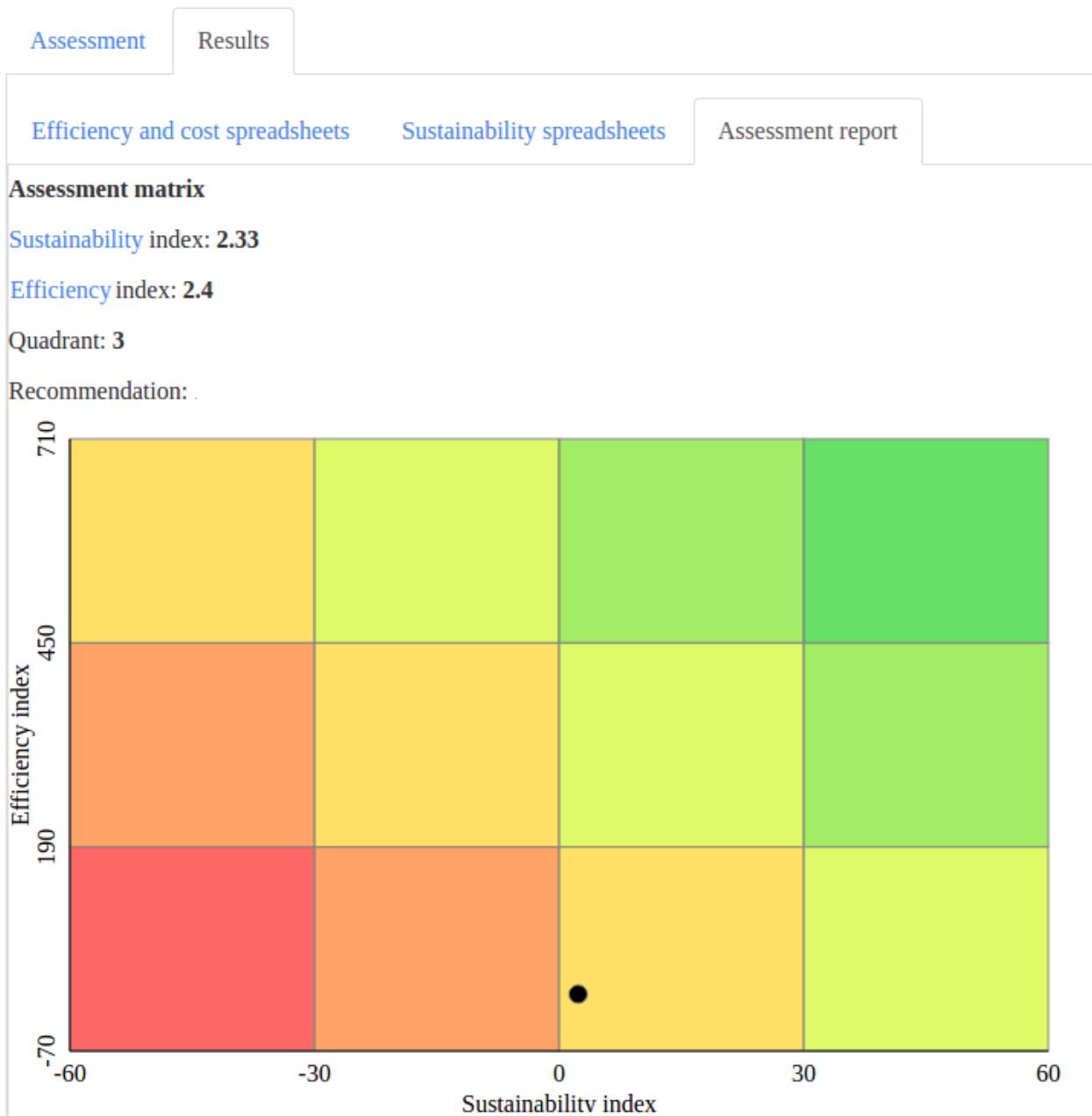


Figura 38 – Matriz de sustentabilidade

Semáforo da Sustentabilidade

O Web Component do Semáforo da Sustentabilidade foi o segundo componente para geração de relatórios, no formato definido pelos especialistas do domínio, desenvolvido para o método SustenAgro. Ele tem um eixo que quantifica o valor da sustentabilidade normalizado entre -100 até +100, dividindo o intervalo em 5 segmentos que correspondem às categorias de

sustentabilidade. A Figura 39 mostra esse componente no sistema SustenAgro com os valores para uma avaliação de sustentabilidade.



Figura 39 – Semáforo de sustentabilidade

5.6 DSL: code

A implementação de uma DSL permite aos especialistas do domínio definir como são usados e apresentados os conceitos da ontologia, por meio de elementos da interface gráfica, como os índices de sustentabilidade serão calculados e quais os elementos presentes no relatório final. A DSL permite a criação de SADs facilmente adaptáveis às mudanças do domínio. Os próprios especialistas podem modificá-la sem o auxílio de programadores.

Para definir o comportamento do SustenAgro, especialistas tiveram que:

5.6.1 Definir o Objeto da Avaliação

No comando, a seguir, o Objeto de Avaliação é definido como uma instância da classe ProductionUnit. Essa classe foi definida pelos próprios especialistas na ontologia e tem como

filhos as classes . Também são declaradas todas as propriedades que os usuários terão que preencher quando criarem uma avaliação. Por exemplo, na propriedade *hasName* os usuários devem preencher o nome da unidade de produção.

```
evaluationObject ':ProductionUnit', {
    instance 'ui:hasName', label: ['en': 'Production unit or farm name', 'pt': 'Nome da unidade produtiva'], header: ['en': 'Name of the production unit or farm'], type label: ['en': "Production unit type", 'pt': "Tipo da unidade produtiva"], header: ['en': 'Production unit type'], include ':hasAgriculturalProductionSystem', label: ['en': 'Agricultural production system'], header: ['en': 'Agricultural production system'], include ':hasSugarcaneSource', label: ['en': 'Sugarcane source', 'pt': "Origem da cana-de-açúcar"], header: ['en': 'Sugarcane source'], include ':dbp:state', label: ['en': 'State', 'pt': 'Estado'], header: ['en': 'State'], include ':ui:hasMicroregion', label: ['en': 'Production unit microregion', 'pt': 'Microregião da unidade produtiva'], header: ['en': 'Production unit microregion'], include ':hasAvailabilityOfEvaluationResults', label: ['en': "Availability of evaluation results"], header: ['en': 'Availability of evaluation results']
}
```

5.6.2 Definir as características a serem avaliadas

Agora os especialistas têm que escolher quais características (*Features*) dos Objetos de Avaliação serão usadas. No comando *feature*, são indicadas as classes das *Features* a serem usadas. Serão mostradas todas as *features* das classes indicadas e de suas descendentes. Por exemplo, o comando *feature ':ProductionEfficiencyFeature'* vai mostrar todas as *Features* relacionadas com eficiência da produção. Na ontologia SustenAgro foram estabelecidas as famílias de *Features*: EnvironmentalIndicator, EconomicIndicator, SocialIndicator, ProductionEfficiencyFeature e TechnologicalEfficiencyFeature.

O comando *feature* também permite dizer se existirão novas *Features* criadas pelos usuários ('extraFeatures': true) e a apresentação condicional de grupos de *Features*. No exemplo da Listagem , são mostradas Features industriais apenas à usuários de usinas.

```
feature ':EnvironmentalIndicator', 'extraFeatures': true
feature ':EconomicIndicator', 'extraFeatures': true
feature ':SocialIndicator', 'extraFeatures': true
feature ':ProductionEfficiencyFeature'
feature ':TechnologicalEfficiencyFeature', {
    conditional ":ProductionUnit", 'http://dbpedia.org/ontology/Provider', {
        include ':TechnologicalEfficiencyInTheField'
    }
    conditional ":ProductionUnit", 'http://dbpedia.org/resource/PhysicalPlant', {
        include ':TechnologicalEfficiencyInTheField', ':TechnologicalEfficiencyInTheIndustry'
    }
}
```

```
}
```

5.6.3 Definir o modelamento e a forma de apresentação dos resultados

Finalmente, no comando *data*, os especialistas definem o nome da variável que contém as respostas dos usuários e, no comando *report*, fazem o cálculo do modelamento e definem o que vai ser apresentado. Na listagem , é possível ver o cálculo dos índices de sustentabilidade e eficiência através das formulas do modelo usado pelo SustenAgro. É possível usar qualquer comando da linguagem Groovy ou biblioteca externa. As variáveis guardam os valores de interesse que serão mostrados no relatório de avaliação. No caso do SustenAgro, a variável *sustainability* guarda o índice de sustentabilidade e a variável *efficiency* guarda o índice de eficiência do sistema.

No relatório aparecerão a Matriz de Sustentabilidade (SustainabilityMatrix), o Semáforo de Sustentabilidade (SustainabilitySemaphore), o texto "Mapa da Microregião" e o mapa da microregião (onde a unidade produtiva se encontra). Cada uma dessas widget é instanciada na DSL e os valores de interesse são passados para os Web Components encarregados da apresentação. O framework Decisioner delega aos Web Components a tarefa de apresentação.

Usuários podem pedir a geração de relatórios em pdf, uma ferramenta de conversão de HTML para pdf é usada.

Listagem 5.1 – SustenAgro DSL

```
data 'data'
report {
    environment = weightedSum(data . ': EnvironmentalIndicator ')
    economic     = weightedSum(data . ': EconomicIndicator ')
    social       = weightedSum(data . ': SocialIndicator ')
    sustainability = (environment + social + economic)/3
    cost_production_efficiency = sum(data . ': ProductionEfficiencyFeature ')
    technologicalEfficiencyInTheField = 0.8*weightedSum(data . ': TechnologicalEfficiencyInTheField')
    technologicalEfficiencyInTheIndustrial = 0.2*weightedSum(data . ': TechnologicalEfficiencyInTheIndustrial')
```

```

efficiency = Math.abs(cost_production_efficiency) * (technologicalEfficiencyInThe
sustainabilityMatrix x: sustainability , y: efficiency ,
label_x: ['en': 'Sustainability Index', 'pt': 'Índice de Sus-
label_y: ['en': 'Efficiency index', 'pt': 'Índice de Eficiênc
range_x: [-43,43],
range_y: [-160,800],
quadrants: [4,3]

sustainabilitySemaphore value: sustainability ,
label: ['en': 'Sustainability Level', 'pt': 'Índice da sus-
legend: [[ 'en': 'Lower sustainability', 'pt': 'Menos suste-
['en': 'Negative changes', 'pt': 'Alterações nega-
['en': 'Irrelevant changes', 'pt': 'Sem alteração'
['en': 'Positive changes', 'pt': 'Alterações positiv
['en': 'Higher sustainability', 'pt': 'Mais sustentabilidade'
range: [-60,60]

text 'en': 'Microregion map', 'pt': '**Mapa da microregião**'

map data.'Microregion'
}

```

5.7 Considerações Finais

O desenvolvimento do sistema Sustenagro satisfez uma necessidade presente na unidade da Embrapa Meio Ambiente: um sistema de avaliação de sustentabilidade em cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil. O SAD SustenAgro representa e permite complementar informações e dados do estado atual de sustentabilidade nas fazendas e usinas. Ele produz relatórios com a finalidade de embasar e formalizar políticas para promover práticas produtivas mais sustentáveis, de acordo com critérios ambientais, sociais e econômicos.

Além de satisfazer uma necessidade institucional, o SustenAgro é uma proposta de SAD baseado em conhecimento e vinculado às tecnologias da web semântica. O SustenAgro não foi apenas uma instanciação do framework Decisioner, ele definiu o próprio framework. Através do desenvolvimento do SustenAgro, foi possível determinar as características gerais desse

tipo de SAD, e implementá-las no framework, e as características específicas do SustenAgro, que foram implementadas usando a ontologia SustenAgro, os dois Web Components e a DSL.

Tendo o sistema SustenAgro instanciado e rodando, foi possível validar suas funcionalidades através de alguns experimentos com integrantes do projeto SustenAgro da Embrapa. Os resultados obtidos nas avaliações dos experimentos serão detalhados no próximo capítulo.

Avaliação

O SAD SustenAgro (capítulo 5) foi instanciado usando o Framework Decisioner (capítulo 4) e avaliado, durante diferentes estágios de desenvolvimento, através de experimentos realizados com especialistas de domínio e usuários da Embrapa. Esses dois sistemas foram desenvolvidos com metodologias iterativas, onde foram realizadas várias inspeções e testes durante a implementação. Uma avaliação final também foi realizada para analisar se as funcionalidades foram implementadas corretamente.

A seguir, são apresentadas as avaliações realizadas no SAD SustenAgro e ao Framework Decisioner. Elas foram independentes e geraram resultados que levaram ao redesenho das arquiteturas de ambos sistemas em diferentes etapas do seu desenvolvimento.

6.1 Avaliação das Web UI.

Na finalização do processo de design das Web UI, explicado na Seção 5.4, foi realizada uma avaliação da usabilidade das mesmas no SAD SustenAgro. Os detalhes dessa avaliação foram:

Data Junho de 2015

Participantes Usuários da ferramenta: especialista em sustentabilidade e especialista em economia agrícola

Local Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC-USP)

Técnica Avaliação de usabilidade

Nesta avaliação foi apresentado, aos usuários especialistas em sustentabilidade, o processo de design da UI e o protótipo da interface gráfica de usuário do SAD SustenAgro sem dados reais. Nessas interfaces, eles interagiram com as telas, através de um navegador web, fazendo uso das funcionalidades do SAD que simulava os dados durante o processo.

Durante esta avaliação foram verificados, os três aspectos da usabilidade:

- Eficácia: as interfaces permitiram realizar as tarefas segundo as funcionalidades definidas e permitiam interagir de maneira intuitiva para realizar as tarefas.
- Eficiência: o acesso à ferramenta foi realizado em tempos esperados e foi possível realizar as tarefas com recursos típicos de um laptop e um navegador web.
- Satisfação: os usuários conseguiram realizar as tarefas sem problemas e com uma experiência de fácil uso, onde a ferramenta fornecia informação de ajuda para realizar as interações.

A avaliação foi positiva, cumprindo os três requisitos anteriores de usabilidade. Esta avaliação gerou várias recomendações para melhorar a interface gráfica de usuário, entre elas as mais relevantes foram:

- Mudar a organização do processo de avaliação, agrupando varias tarefas em uma seção denominada “caracterização da unidade produtiva”, que permite definir a localização, as principais características e a disponibilização da informação em um processo unificado.
- Agrupar os resultados em uma seção “Resultados”, integrando os Web Components específicos do SustenAgro com os resultados da avaliação.
- Organizar os indicadores em uma hierarquia simplificada que facilita o preenchimento dos mesmos.

Depois de implementar as recomendações anteriores, foi continuado o desenvolvimento com a integração da ontologia SustenAgro e da DSL. Foi necessário realizar ajustes da interface ao integrar cada funcionalidade. As principais mudanças foram realizadas devido a esta avaliação.

6.2 Avaliação da ontologia de domínio de avaliação da sustentabilidade.

A ontologia SustenAgro foi o resultado da modelagem do conhecimento dos especialistas, que passou por várias etapas, desde ser definida em texto, modelada em mapas conceituais e criada a ontologia em OWL (esse processo foi detalhado na Seção 5.2). Cada uma dessas

etapas requereu inspeções por parte dos especialistas para verificar a correta modelagem, uma avaliação formal foi realizada e os detalhes são descritos a seguir.

Data 14 de abril do 2016

Participantes Especialista em sustentabilidade e especialista em modelagem de conhecimento

Local Embrapa Informática Agropecuária - Campinas

Técnica Visualização da ontologia e recuperação de conhecimento

O especialista em modelagem de conhecimento da Embrapa Informática Agropecuária e o especialista em sustentabilidade reuniram-se para realizar a revisão da ontologia SustenAgro por meio de ferramentas de engenharia de conhecimento que permitiram visualizar as ontologias.

As ferramentas usadas na avaliação foram yWorks¹ e Gephi². Elas representaram aspectos da ontologia usando diversas visualizações de grafos, permitindo avaliar a coerência das conexões entre os nós daqueles grafos.

Também foi analisado o SAD SustenAgro, que tinha a ontologia integrada, usando as funcionalidades que requeriam dados da ontologia, verificando a informação recuperada e a coerência dela em relação à existente na ontologia.

A reunião de avaliação chegou no consenso: a ontologia OWL está representando a avaliação da sustentabilidade do sistema de produção de cana no centro-sul do Brasil, destacando a especificidade dela para suportar o SAD Sustenagro e que seu foco em conceitos concretos.

Foi recomendado integrar outros tipos de visualizações e editores de ontologia no framework Decisioner. Entre eles foi recomendado fornecer um editor visual de ontologias, baseado na ferramenta WebOWL, definida e desenvolvida por Lohmann et al. (2014). Devido a limitações de tempo, não foi possível a implementação dessa sugestão específica.

6.3 Avaliação do protótipo funcional com dados

Com a finalidade de avaliar a implementação do método SustenAgro, foram realizados testes de vários tipos de avaliações, para comparar com resultados de outras fontes, e assim validar a correta implementação. Os detalhes da avaliação foram.

Data 6 de junho do 2016

Participantes Especialista em sustentabilidade e especialista em economia agrícola

¹ <<http://www.yworks.com/>>

² <<https://gephi.org/>>

Local Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA)

Técnica Testes numéricos dos resultados do software

A revisão dos resultados numéricos foi realizada a partir de vários cenários de indicadores, sendo realizada uma comparação dos resultados processados manualmente com os resultados de avaliação do SAD SustenAgro. Os resultados manuais foram iguais aos calculados pelo sistema, o que permitiu validar a correta definição do método SustenAgro e sua implementação no SAD SustenAgro.

Os cenários avaliados foram casos extremos dos indicadores, processo denominado teste de mínimos e máximos, gerando resultados em forma de relatório para cada um dos cenários. A Figura 40 apresenta a Matriz de Sustentabilidade com o cenário de mínimos, na qual o ponto preto identifica o resultado da avaliação. Ele ficou no primeiro quadrante tal como se esperava. Os resultados para testes de máximos também se comportaram como esperado.

Matriz de Avaliação

Índice da sustentabilidade: **-41**

Índice de eficiência: **-158.4**

Quadrante: 1

Recomendação: **Avaliação da eficiência: balanço da eficiência ‘tecnológica – produção – custo’ desfavorável ao sistema de produção de cana / sistema de produção de cana na fase inicial de implementação (avaliação de sustentabilidade comprometida) ou com muito baixa sustentabilidade – sistema de produção de cana não recomendado.**

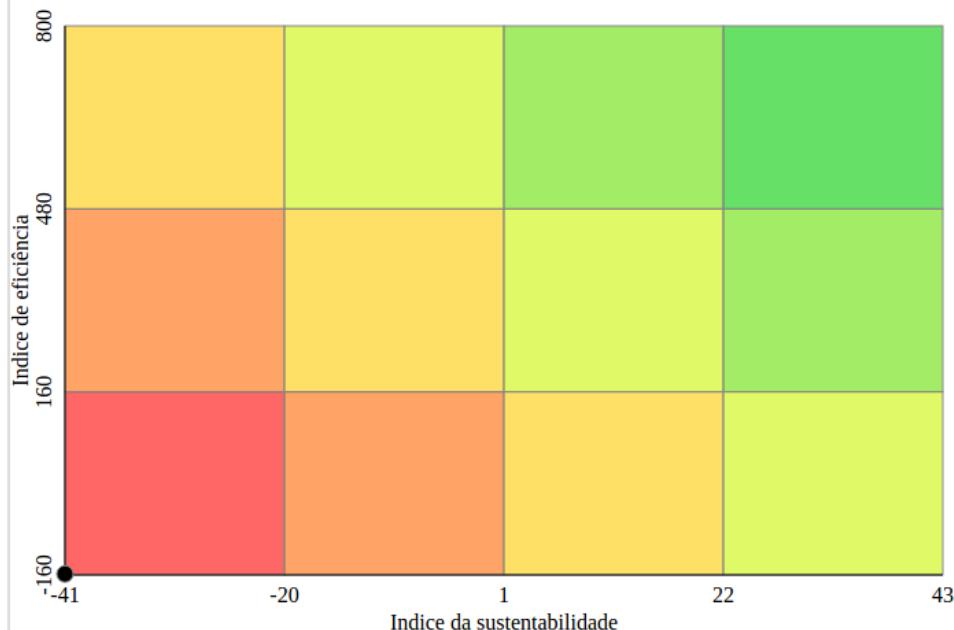


Figura 40 – Matriz de Sustentabilidade com valores mínimos.

Um dos aspectos importantes da ferramenta, é que ela permite que os próprios especialistas mudem, em tempo real, as fórmulas do método de avaliação, permitindo fazer ajustes finos no método. Essa funcionalidade permitiu descobrir e avaliar rapidamente um problema do método original: a integração de uma operação de valor de um valor absoluto na fórmula. A possibilidade da interação direta e fácil dos especialistas, em tempo real, com o sistema permitiu demonstrar agilmente possíveis cenários de resolução do problema e aceitar rapidamente uma solução, proposta pelo autor.

6.4 Avaliação do SAD SustenAgro e do Framework Decisioner:

A partir da avaliação da ontologia, da implementação do método SustenAgro e do desenvolvimento das Web UI realizou-se uma avaliação do SAD com a finalidade de avaliar a integração desses componentes.

Data 18 de maio do 2016 até o dia 22 de junho do 2016

Participantes Usuários especialistas e usuários finais.

Local Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC-USP)

Técnica Teste de usabilidade

Para realizar uma avaliação integral do SAD SustenAgro e do Framework Decisioner, foi necessário fazer testes de usabilidade com usuários de ambos os perfis do sistema (especialistas de domínio e usuários finais). Essa avaliação foi realizada com a maioria dos membros da equipe SustenAgro e com usuários finais, de maneira remota e independente, totalizando 8 avaliações.

A avaliação consistiu em realizar um conjunto de tarefas com o SAD SustenAgro v1.0 e responder se foi possível terminar a tarefa e as sugestões. As tarefas e perguntas solicitadas aos usuários estão listadas no Apêndice D.1 e permitiram gerar os seguintes resultados das avaliações:

Perfil de Usuário	Avaliação	Sugestões
Usuário final 1	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário final com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a ajuda para cada funcionalidade • Barra de progresso durante a avaliação • Resultados de avaliação mais detalhados

Usuário final 2	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário final com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a explicação do processo de avaliação • Resultados numéricos com formatação
Usuário final 3	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário final com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança no cadastro da senha • Melhorar a localização do botão avaliar • Remover scroll externo • Salvar automaticamente os dados
Especialista em sustentabilidade	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário e as 5 tarefas de especialista de domínio com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Definir e acrescentar os termos de uso • Melhorar a sequencia de telas durante o cadastro de novo usuário • Balão explicativo dos campos do formulário de nova unidade produtiva, especificamente a propriedade de publicação dos dados • Definir o limite de caracteres para o campo de justificativa • Salvar avaliação ao mudar de aba • Justificativas sempre visíveis na tela de resultados. • Acrescentar bandeira em inglês e termos de uso

Especialista economia	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário e as 5 tarefas de especialista de domínio com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Salvar dados da seção automaticamente • Mudanças em alguns labels • Mudanças nos indicadores • Componentes gráficos para representar os dados • Editor visual de ontologia e internacionalização
Especialista em ontologias	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário final com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a apresentação do botão salvar • Indicadores em forma de pergunta com verbo e simbolo de pergunta • Informar a possibilidade de edição de indicadores
Especialista agricultura	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário final com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Cadastrar mais de uma microrregião • Remover scroll externo, mudanças em vários indicadores • Melhorar a localização do botão salvar e avaliar • Salvar a seção para não perder os dados • Melhorar a apresentação do pdf
Especialista em computação	Positiva, realizou as 5 tarefas de usuário final com sucesso	<ul style="list-style-type: none"> • Salvar a seção e os dados dela em tempo real • Integrar sistemas externos para poupar informação (caracterização da unidade produtiva)

Tabela 2 – Avaliação do SAD SustenAgro

A partir dessa avaliação integral, feita por usuários finais e administradores, foram definidas várias melhorias a serem realizadas no Framework Decisioner e o SAD SustenAgro. Devido às limitações de tempo e de desenvolvedores, foram implementados apenas os ajustes visuais nas web UI, melhorias na apresentação dos resultados, na geração do PDF e, principalmente, a inclusão da linguagem inglês. Essa última mudança foi selecionada como de especial importância, por parte dos especialistas. Neste documento, são apresentadas várias telas, tanto em português como em inglês, que foram geradas a partir da implementação dessa funcionalidade.

6.5 Workshop: validação do software SustenAgro v1.0 com equipe de especialistas.

A partir das melhorias realizadas na avaliação interna pelos dois tipos de usuários do SAD SustenAgro, o sistema foi disponibilizado em serviços web do ICMC. Esta publicação permitiu dar suporte a uma avaliação no formato de workshop com especialistas de diversos perfis que tinham interesse no SAD SustenAgro. O Workshop foi intitulado “Validação do software SustenAgro”, os detalhes do workshop são apresentados a seguir.

Data 14 de julho de 2016

Participantes Equipe do projeto SustenAgro de várias unidades da Embrapa

Local Embrapa Informática Agropecuária - Campinas

Técnica Delphi

O workshop teve o objetivo de avaliar a qualidade e acuidade do SAD SustenAgro em termos da clareza da informação técnica apresentada nas interfaces, com vistas a garantir o entendimento do usuário e possibilitar que a avaliação da sustentabilidade do sistema de produção de cana-de-açúcar seja realizada da melhor forma possível.

No workshop foi apresentado o formulário de avaliação (Seção D.3) usando a técnica Delphi ([WRIGHT, 1985](#)), a um grupo de especialistas com perfis de varias áreas do conhecimento, entre eles destacam-se:

- Especialista em sustentabilidade
- Especialista em ciências agrícolas

- Especialista em modelagem de conhecimento
- Especialista em ciência e Tecnologia do Bioetanol
- Especialista em ciências da computação
- Especialista em economia agrícola
- Especialista em biotecnologia
- Mestrando em ciências da computação (sistemas web e multimídia)
- Mestrando em Planejamento de Sistemas Energéticos

As interações com o sistema foram filmadas enquanto os usuários executavam uma lista de tarefas. Monitores do ICMC ficavam estimulando os usuários a falar o que estavam pensando (técnica Think Aloud) e os questionavam, quando tinham alguma dificuldade de interação. Ao final, houve um debriefing e foram também colhidas mais sugestões de mudança.

Os especialistas aprovaram a ferramenta tanto na interação como no conteúdo dela, com as seguintes sugestões:

- As perguntas dos indicadores não são de fácil interpretação.
- Colocar mais informações na interface para facilitar o uso dela, por exemplo o significado de alinhamento dos indicadores.
- Alguns indicadores estão repetidos.
- Os resultados da avaliação deveriam estar por dimensão.
- Demora para salvar os dados inseridos.
- A informação dos site tem inconsistências em relação à informação do pdf gerado.
- A recomendações do relatório precisam mais detalhamento.

É interessante que muitas das sugestões não tem haver com aspectos computacionais ou de interface, mas sim com o processo de avaliação de sustentabilidade. Esse processo é de inteira responsabilidade dos especialistas de domínio (e foge totalmente do escopo deste trabalho). Isso foi um ponto positivo. É natural que especialistas em sustentabilidade estejam muito mais interessados na sua área do que nos aspectos computacionais do SAD SustenAgro. Uma boa interface é aquela que desaparece da mente do usuário e permite que este se foque na sua tarefa. Neste caso, a avaliação de sustentabilidade. Acreditamos que o SAD SustenAgro atendeu bem a esse requisito.

6.6 Avaliação de SAD SustenAgro nos servidores da Embrapa

A partir da aprovação do SAD SustenAgro, por parte dos especialistas no workshop, foi autorizada a instalação da ferramenta nos servidores da Embrapa Meio Ambiente. Essa instalação foi um esforço coordenado entre o desenvolvedor do framework Decisioner (o autor deste trabalho) e técnicos de informática da Embrapa.

Data 18 de agosto do 2016

Participantes Especialista em Sustentabilidade e especialista em TI

Local Embrapa Meio Ambiente - Campinas

Técnica Teste de usabilidade

A instalação, coordenada pelo desenvolvedor do Framework Decisioner e técnicos da Embrapa, foi problemática. A Embrapa não autoriza o acesso físico ou via ssh aos servidor por parte de profissionais externos. Por esta razão, foi criado um documento de instalação, descrito no Apêndice C. Nele estão as instruções para instalar o Framework Decisioner e instanciar o SAD SustenAgro.

A instalação foi exitosa e o sistema está funcionando no endereço <<https://sustenagro.embrapa.br/>>. Atualmente o endereço não está no ar, pois o SAD SustenAgro está em processo de registro no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), em nome da Embrapa e USP, e a Embrapa ter uma política de exigir esse registro para liberação para uso externo.

6.7 Conclusões

Essas avaliações permitiram verificar que os requisitos do Framework Decisioner e do SAD SustenAgro foram implementados corretamente e que atenderam as necessidades dos especialistas de domínio e usuários finais, identificadas nos levantamentos de requisitos.

As avaliações ocorreram em diferentes fases do projeto e cada uma trouxe correções e melhorias que foram implementadas, na medida do possível, segundo a relevância de cada mudança e o tempo disponível para desenvolvedor do projeto. Por ter sido desenvolvido em um processo cíclico, cada iteração acrescentou novas funcionalidades que fizeram mudar a arquitetura dos sistemas, gerando bugs e inconsistências. Na versão 1.0, os sistemas contam com funcionalidades estáveis que permitem fornecer os serviços implementados. Correções e sugestões recebidas durante a avaliação e não implementadas por problema de tempo, foram deixadas como trabalhos futuros, que serão apresentados no próximo capítulo juntamente com as conclusões.

Conclusões

As principais contribuições desta pesquisa foram o método e ferramenta de geração de SADs usando ontologias e DSLs. Esse método permite complementar o conhecimento descrito em uma ontologia com uma DSL, que define o comportamento e formato de um SAD.

Ontologia e DSL estão abertas a edição pelos especialistas de domínio. Eles podem editá-las, através de editores online (na própria ferramenta), e modificar aspectos fundamentais do SAD em tempo real. Essa característica permite um ciclo de desenvolvimento mais curto e uma participação ativa dos especialistas de domínio. Como o Framework Decisioner fornece uma aplicação semiacabada (como todo o framework) que os próprios especialistas de domínio podem modificar, isso tende a diminuir os custos associados a criação de SADs.

O Framework Decisioner, o SAD SustenAgro e o método de definição de SADs proposto tiveram uma avaliação positiva por parte dos especialistas do domínio sustentabilidade e usuários finais da Embrapa e do projeto SustenAgro. Essas avaliações demonstraram que as ferramentas e o método proposto solucionaram, para o caso do SustenAgro, os problemas identificados na pesquisa e que os objetivos específicos desta pesquisa foram satisfeitos.

Se deve ressaltar que, apesar dos bons resultados das avaliações e do entusiasmo dos especialistas da Embrapa (que nunca tiveram tantas facilidades para modificar o código de um projeto de SAD), ainda não é possível, para especialistas de domínio, desenvolver um SAD, usando o Decisioner, a partir do zero. Mas os resultados mostraram que eles podem modificar muitos aspectos do sistema sem a ajuda de programadores. O que é um avanço muito grande, se comparado com o que é possível fazer em métodos de desenvolvimento tradicionais.

Outra importante contribuição foi a geração de uma versão funcional do SAD SustenAgro. Ela permitiu cumprir os objetivos do projeto SustenAgro da Embrapa, fornecendo uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar que pode efetivamente

ser usada por empregados de fazendas e usinas.

Para continuar a pesquisa, foram sugeridos trabalhos futuros. Dentre os mais relevantes estão a metodologia de criação de ontologias e as ferramentas web para editá-las.

7.1 Resultados

Os resultados obtidos são:

1. Ontologia SustenAgro sobre avaliação de sustentabilidade em sistemas produtivos de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. Ela representa os principais conceitos desse domínio, necessários para o suporte da avaliação de sustentabilidade. Dentre eles estão os indicadores, unidades produtivas, microrregiões, índices e métodos de avaliação. A ontologia padroniza o conhecimento dos especialistas em um formato computável. Ela foi desenvolvida em parceria com os especialistas de domínio de sustentabilidade da Embraapa.
2. Ontologia sobre tipos de dados e controles visuais para suportar a geração automática das interfaces gráficas do SAD SustenAgro. Ela permite associar tipos de dados às widgets (Web Components) necessárias para a geração automática das UI para os SAD.
3. DSL que permite definir o comportamento de um SAD, usando os conceitos das ontologias e integrando web components para gerar as Web UIs. Dentro dos elementos suportados estão a definição dos objetos de avaliação, dos indicadores, das fórmulas do método de avaliação e da definição do formato do relatório de cada análise.
4. Método e framework Decisioner para definir SADs baseadas em ontologias e DSLs. O framework Decisioner possui uma arquitetura escalável que permite generalizar a aplicabilidade dele a outros tipos de SADs com características diferentes. Ele está baseado na linguagem Groovy e o framework Grails.
5. O SAD SustenAgro: sistema para avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar, que foi implementado usando o Framework Decisioner. O SAD SustenAgro permite a reconfiguração, em tempo de execução, dos conceitos do domínio, métodos de avaliação e componentes das interfaces gráficas, através do Framework Decisioner.
6. Resultados de avaliação do processo de design do SAD SustenAgro e do seu protótipo final. Eles permitiram comprovar a realização dos objetivos da pesquisa.

7. Artigo “Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Method” submetido ao periódico da Elsevier “Energy for sustainable Development” ISSN: 0973-0826 submissão realizada em 23 de dezembro de 2016.
8. .

7.2 Dificuldades

As dificuldades identificadas durante a realização da pesquisa, foram as seguintes:

A falta de dados e informações para modelar o domínio do conhecimento de avaliação em sustentabilidade, pelo que foi necessário realizar o processo de modelagem para determinar que era necessário fornecer ferramentas de definição do conhecimento por parte dos especialistas. Porém, depois de estabelecer meios de representação de conhecimento para os especialistas, encontrou-se que não existiam dados que representaram instâncias dos conceitos definidos, pelo que foi necessário criar formulários web para fazer a recoleta de dados, dificultando o desenvolvimento do projeto.

Outra dificuldade foi a falta de literatura especializada que forneça um referencial em cada uma das etapas de desenvolvimento, repercutindo na realização de tarefas erradas que consumiram tempo. Só foi possível encontrar fundamentação teórica especializada em cada área do conhecimento de maneira separada, no caso dos SAD as fontes bibliográficas datam de anos muito anteriores ao presente.

Além disso, o principal problema afrontado para a realização desta pesquisa foi de caráter organizacional entre a equipe do projeto. Este problema deve-se a que existem interesses heterogêneos por parte da USP e da Embrapa, sendo o interesse em pesquisa por parte da USP e de desenvolvimento por parte de Embrapa. Adicionalmente, não existia uma definição específica do tipo de sistema que os especialistas da Embrapa precisavam, o que levou a realizar levantamento de requerimentos e processos de design para especificar os sistemas requeridos, consumindo tempo importante em processos que não estavam relacionados à pesquisa.

A Embrapa não permite que programas, desenvolvidos por ela ou em colaboração com ela, sejam disponibilizado para o público em geral antes do registro no INPI. Como o SAD SustenAgro foi uma colaboração entre Embrapa e USP, a USP deve compartilhar esse registro com a Embrapa. Infelizmente a burocracia da USP é muito demorada e esse registro está demorando muito mais que o necessário. A Embrapa tem uma rede de produtores de cana, usinas e cooperativas do setor interessados em sustentabilidade. Apesar do SustenAgro ter sido avaliado por um número expressivo de profissionais, seria muito interessante uma avaliação por usuários finais de fazendas e usinas.

7.3 Trabalhos futuros

A partir do análise dos resultados e das dificuldades, foram identificadas várias ideias que permitem complementar e melhorar os resultados da pesquisa. Também a partir das seguintes ideias de trabalhos futuros fica a possibilidade de definir projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, tais como:

Metodologia de modelagem de conhecimento dos especialistas

A metodologia e desenvolvimento das ontologias explicada na seção 5.3, permite propor uma metodologia para acompanhar a modelagem de conhecimento de especialistas do domínio, ela poderia estar composta das seguintes etapas:

1. Definição textual do conhecimento do domínio do especialista e identificação dos elementos principais.
2. Modelar um mapa conceitual a partir dos elementos principais, que permitam classificar os conceitos e estabelecer relacionamentos entre eles.
3. Modelar a ontologia de maneira gráfica a través de um editor visual de ontologias, que faça uso dos conceitos, classificações e relacionamentos identificados nos mapas conceituais e permita definir regras em formato OWL
4. Gerar o formato computável da ontologia e carregar ela em um sistema web para permitir o gerenciamento.
5. Por meio de serviços web instanciar a ontologia com indivíduos que representem dados reais do domínio para permitir o uso dela e dos dados em outros sistemas.

Dita metodologia facilitará a definição de conhecimento dos especialistas, devido ao fato de fornecer uma abordagem gradual da modelagem.

Editor web de ontologias da web semântica.

O Framework Decisioner integra um editor de ontologias baseado no formato YAML, o qual suporta a edição de ontologias em tempo de execução, a través de uma web UI.

Este editor de ontologia pode ser complementado com um editor visual de ontologias que permita a visualização e edição em forma de grafos, um exemplo deste tipo de tecnologias é o visualizador de ontologias WebVOWL¹.

¹

website do WebVOWL <<http://vowl.visualdataweb.org/webvowl.html>>

Esta ferramenta integrará o método de modelagem de conhecimento proposto anteriormente e terá um repositório online de conhecimento que permita a reutilização.

Linguagem simplificado de consultas Sparql

A DSL Interpreter está composta de um módulo que simplifica as consultas Sparql nas triplestores. Este módulo é um protótipo que pode ser melhorado e generalizado para facilitar o armazenamento e recuperação de informações semânticas por meio de uma linguagem simplificada em comparação do Sparql.

Este componente pode ser disponibilizado como uma biblioteca que dê suporte no desenvolvimento de software que façam uso do Sparql.

Linguagem de edição de Web UIs

As UI para os SAD, possuem vários tipos de widgets, que podem ser customizados de acordo aos critérios dos especialistas. Para suportar a definição da organização e apresentação das UI, é necessária uma linguagem que gerencie as widgets (elementos de uma UI). Esta linguagem será baseada em HTML e permitira usar termos simples do domínio, e gerará web UIs de tipo single-page application.

Atualmente, foi definida uma DSL para especificar as web UI gerando uma estrutura do documento em HTML, que associa templates com o estilo predefinido através de CSS e com scripts definidos na linguagem Javascript. Esta DSL está focada na estrutura do documento, mas a linguagem proposta deve ser focada em termos dos domínio de interfaces gráficas em mais alto nível, onde os elementos estejam modularizados. A estrutura hierárquica da UI, estaria definida por meio de componentes relacionados semanticamente.

Linguagem genérico definição de SAD

Decisioner DSL é uma linguagem de definição de SADs de avaliação, que foi desenvolvida a partir do caso de uso SAD SustenAgro. Esta DSL pode ser complementada e generalizada a partir da integração de instruções e funcionalidades que façam parte de outros SAD diferentes aos de avaliação, para desenvolver e validar uma linguagem geral que dê suporte a definição de SADs.

Georreferenciamento

Um aspecto importante para vários tipos de SAD são a associação de termos e tecnologias de georreferenciamento, que são importantes para relacionar o conhecimento de locais

específicos e assim vincular dados e informações para fazer sistemas com maior alcance.

No caso dos SADs associados a agricultura como SustenAgro, permitirá contribuir na recuperação de dados existentes em fontes externas como Geonames², Wikimapia³ e da DBpedia⁴. Os sistemas poderiam mapear as instâncias de conceitos agrícolas utilizando coordenadas geográficas para GeoSPARQL.

Biblioteca de web components

O Framework Decisioner conta com aproximadamente 60 web components, que dão suporte na geração de UI, as quais podem ser agrupadas em uma biblioteca para permitir a reatualização delas e a definição de web componentes especializados como os desenvolvidos para o SAD SustenAgro.

A biblioteca Polymer⁵ suporta a criação de web components reusáveis para compor web UI. Dada as características dela recomenda-se implementar a biblioteca com esta tecnologia.

A partir desta biblioteca pode-se desenvolver um sistema de classificação e busca de web components para a geração de SADs, inclusive mapeá-los diretamente desde a ontologia.

Biblioteca de Report com suporte semântico

Os SADs geram saídas em forma de relatórios, previsões e recomendações, os quais devem ser flexíveis para facilitar a análise das informações geradas, pelo qual se propõe o desenvolvimento de uma biblioteca especializada em consultas complexas para a suportar as respostas dos SADs.

² Site do GeoNames <<http://www.geonames.org/>>

³ Site da Wikimapia <<http://wikimapia.org/>>

⁴ Site da DBpedia <<http://wiki.dbpedia.org/>>

⁵ Site do Polymer <<http://wiki.dbpedia.org/>>

Referências

- ALLEMANG, D.; HENDLER, J. *Semantic Web for the Working Ontologist: Effective Modeling in RDFS and OWL*. Elsevier Science, 2011. ISBN 9780123859662. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=_qGKPOLB1DgC>. (Citado nas páginas 40 e 72.)
- BELLEN, H. M. V. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. [S.l.]: FGV editora, 2005. (Citado nas páginas 125 e 137.)
- BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. *Scientific American*, v. 284, n. 5, p. 34–43, maio 2001. Disponível em: <<http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=00048144-10D2-1C70-84A9809EC588EF21>>. (Citado nas páginas 38 e 39.)
- BIKAKIS, N. et al. The xml and semantic web worlds: technologies, interoperability and integration: a survey of the state of the art. In: *Semantic Hyper/Multimedia Adaptation*. [S.l.]: Springer, 2013. p. 319–360. (Citado na página 38.)
- BOSSEL, H. *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. [S.l.]: International Institute for Sustainable Development Winnipeg, 1999. (Citado na página 137.)
- BRILHANTE, V. et al. Information integration through ontology and metadata for sustainability analysis. In: *Proc. of the 3rd biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society*. [S.l.: s.n.], 2006. (Citado na página 35.)
- BRUNDTLAND, G. et al. Our common future: Report of the 1987 world commission on environment and development. *United Nations, Oslo*, p. 1–59, 1987. (Citado nas páginas 125 e 126.)
- BURTON, I. Report on reports: Our common future. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, v. 29, n. 5, p. 25–29, 1987. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00139157.1987.9928891>>. (Citado na página 125.)
- CAMINO; MÜLLER. *Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores*. [S.l.]: IICA Biblioteca Venezuela, 1993. (Citado na página 137.)
- CARDOSO, B. O. *Avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção da cana-de-açúcar no estado de São Paulo: uma proposta metodológica e de modelo conceitual*. [S.l.: s.n.], 2013. (Citado nas páginas 21, 22, 70, 74, 126, 129 e 139.)
- DEARLE, F. *Groovy for Domain-Specific Languages*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2015. (Citado nas páginas 48 e 65.)
- EHLERS, E. *Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma*. [S.l.]: Livros da terra, 1996. (Citado na página 125.)

EVANS. *Domain-Driven Design: Tacking Complexity In the Heart of Software*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003. ISBN 0321125215. (Citado nas páginas 28 e 33.)

EWERT, F. et al. A methodology for enhanced flexibility of integrated assessment in agriculture. *Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 5, p. 546 – 561, 2009. ISSN 1462-9011. Integrated Assessment of Agricultural and Environmental Policies – concepts and tools. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901109000409>>. (Citado na página 34.)

FENSEL, D. et al. *Semantic web services*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011. (Citado na página 39.)

FERRAZ, J. M. G. As dimensões da sustentabilidade e seus indicadores. *Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas*, 2003. (Citado na página 137.)

FILHO, R. D.; ZERBINI, N. J. Critérios e indicadores para a sustentabilidade da floresta amazônica: o processo de tarapoto. *Brasil Florestal*, v. 71, p. 42–48, 2001. (Citado na página 128.)

FOWLER, M. *Domain-specific languages*. [S.l.]: Pearson Education, 2010. (Citado nas páginas 23, 46 e 47.)

GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. a systems approach. *Environmental modeling & assessment*, Springer, v. 1, n. 3, p. 101–117, 1996. (Citado na página 137.)

GAVRILOVA, T.; ANDREEVA, T. Knowledge elicitation techniques in a knowledge management context. *Journal of Knowledge Management*, v. 16, n. 4, p. 523–537, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/13673271211246112>>. (Citado na página 21.)

GLIESSMAN, S. R. *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável*. [S.l.]: Ed. da Univ. Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2001. (Citado nas páginas 125 e 135.)

HEINZLE, R.; GAUTHIER, F. A. O.; FIALHO, F. A. P. Semântica nos sistemas de apoio a decisão: o estado da arte. *Revista Da Unifebe Vers\ ao Eletrônica*, 2010. (Citado na página 28.)

HORRIDGE, M.; BECHHOFER, S. The owl api: A java api for owl ontologies. *Semantic Web*, IOS Press, v. 2, n. 1, p. 11–21, 2011. (Citado na página 41.)

ITTERSUM, M. K. V. et al. Integrated assessment of agricultural systems—a component-based framework for the european union (seamless). *Agricultural systems*, Elsevier, v. 96, n. 1, p. 150–165, 2008. (Citado na página 126.)

JONG, E. de. Software architecture for large control systems: A case study description. In: *Coordination Languages and Models*. [S.l.]: Springer, 1997. p. 150–156. (Citado na página 28.)

KOENIG, D. et al. *Groovy in action*. [S.l.]: Manning, 2007. v. 91. (Citado na página 48.)

- KRAINES, S.; GUO, W. A system for ontology-based sharing of expert knowledge in sustainability science. *Data Science Journal*, CODATA, v. 9, p. 107–123, 2011. (Citado nas páginas 34 e 76.)
- LEE, Z.; WAGNER, C.; SHIN, H. K. The effect of decision support system expertise on system use behavior and performance. *Information & Management*, v. 45, n. 6, p. 349 – 358, 2008. ISSN 0378-7206. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720608000669>>. (Citado na página 22.)
- LIANG, A. et al. From agrovoc to the agricultural ontology service / concept server: An owl model for creating ontologies in the agricultural domain. *International Conference on Dublin Core and Metadata Applications*, v. 0, n. 0, 2006. ISSN 1939-1366. Disponível em: <<http://dcpapers.dublincore.org/pubs/article/view/841>>. (Citado na página 34.)
- LOHMANN, S. et al. Webowl: Web-based visualization of ontologies. In: SPRINGER. *International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management*. [S.l.], 2014. p. 154–158. (Citado na página 105.)
- MATTHEWS, K. et al. Wither agricultural dss? *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 61, n. 2, p. 149 – 159, 2008. ISSN 0168-1699. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169907002207>>. (Citado na página 22.)
- MCGUINNESS, D. L.; HARMELEN, F. V. et al. Owl web ontology language overview. *W3C recommendation*, v. 10, n. 10, p. 2004, 2004. (Citado nas páginas 43 e 44.)
- MERNIK, M.; HEERING, J.; SLOANE, A. M. When and how to develop domain-specific languages. *ACM Comput. Surv.*, ACM, New York, NY, USA, v. 37, n. 4, p. 316–344, dez. 2005. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1118890.1118892>>. (Citado na página 47.)
- MORET, A.; RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. Critérios e indicadores de sustentabilidade para bioenergia. *GT Energia do Fórum Brasileiro de ONGs e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Brasília, p. 1–11, 2006. (Citado na página 137.)
- MOURA, L. G. V. Indicadores para a avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção da agricultura familiar: o caso dos fumicultores de agudo-rs. 2002. (Citado na página 128.)
- MUSEN, M. A. The protégé project: A look back and a look forward. *AI matters*, ACM, v. 1, n. 4, p. 4–12, 2015. (Citado na página 44.)
- NOY, N. F.; MCGUINNESS, D. L. et al. *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. [S.l.]: Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and Stanford medical informatics technical report SMI-2001-0880, 2001. (Citado na página 41.)
- OLSSON, J. A. et al. A goal oriented indicator framework to support integrated assessment of new policies for agri-environmental systems. *Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 5, p. 562 – 572, 2009. ISSN 1462-9011. Integrated Assessment of Agricultural and Environmental Policies – concepts and tools. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901109000446>>. (Citado nas páginas 34 e 126.)

- ONU. The future we want. *Technical Report of United Nations Conference on Sustainable Development, Brazil*, 2012. (Citado na página 125.)
- PATEL-SCHNEIDER, P. F. Building the semantic web tower from rdf straw. In: *In Proc. of the 19th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI 2005*. [S.l.: s.n.], 2005. (Citado na página 41.)
- POWER, D. J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. *AMCIS 2000 Proceedings*, p. 387, 2000. (Citado na página 21.)
- PRUD, E.; SEABORNE, A. et al. Sparql query language for rdf. 2006. (Citado na página 53.)
- R AGOSTINHO F O. E. S. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & sociedade*, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 137–148, 2007. (Citado nas páginas 135 e 137.)
- RIEHLE, D. *Framework Design: A Role Modeling Approach*. Tese (Doutorado) — ETH Zürich, Switzerland, 2000. Ph.D. Thesis, No. 13509. Zürich. (Citado na página 52.)
- ROUSSEY, C. et al. Ontologies in agriculture. In: *AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010. (Citado nas páginas 21 e 34.)
- RUSHER, J. Triple store. In: *Workshop on Semantic Web Storage and Retrieval-Position Paper*. [S.l.: s.n.], 2003. (Citado na página 45.)
- SAXENA, K. B. C. Decision support engineering: a dss development methodology. In: *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. [S.l.: s.n.], 1991. iii, p. 98–107 vol.3. (Citado na página 22.)
- SCHWABER, K.; BEEDLE, M. Agile software development with scrum. 2002. (Citado na página 69.)
- SEABRA, J. E. et al. Life cycle assessment of brazilian sugarcane products: Ghg emissions and energy use. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, Wiley Online Library, v. 5, n. 5, p. 519–532, 2011. (Citado na página 30.)
- SEI, S. Views and beyond architecture documentation template. 2006. (Citado na página 28.)
- SHIM, J. et al. Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, v. 33, n. 2, p. 111 – 126, 2002. ISSN 0167-9236. Decision Support System: Directions for the Next Decade. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167923601001397>>. (Citado na página 30.)
- SIMON, H. A. *The architecture of complexity*. [S.l.]: Springer, 1991. (Citado nas páginas 30 e 126.)
- SINGH, R. K. et al. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, v. 15, n. 1, p. 281 – 299, 2012. ISSN 1470-160X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11000240>>. (Citado na página 31.)

- SMITH, B. et al. The obo foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. *Nat Biotech*, Nature Publishing Group, v. 25, n. 11, p. 1251–1255, nov 2007. ISSN 1087-0156. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nbt1346>>. (Citado na página 40.)
- SMITH, G.; LEDBROOK, P. *Grails in action*. [S.l.]: Manning, 2009. (Citado na página 48.)
- SOUZA, R. R.; ALVARENGA, L. A web semântica e suas contribuições para a ciência da informação. *Ciência da Informação, Brasília*, SciELO Brasil, v. 33, n. 1, p. 132–141, 04 2004. ISSN 0100-1965. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652004000100016&nrm=iso>. (Citado na página 38.)
- SUGUMARAN, V.; GULLA, J. A. *Applied semantic web technologies*. [S.l.]: CRC Press, 2011. (Citado na página 42.)
- TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 418, n. 6898, p. 671–677, 2002. (Citado na página 81.)
- TORQUATO, K. R. E. d. J. & C. R. B. Z. S. A. Inovações no sistema de produção de cana-de-açúcar: uma contribuição do protocolo agroambiental para a região de piracicaba, estado de são paulo. *Informações Econômicas*, v. 45, n. 2, p. 10, 2015. (Citado na página 30.)
- TUDHOPE, D.; NIELSEN, M. L. Introduction to knowledge organization systems and services. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, v. 12, n. 1, p. 3–9, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/13614560600856433>>. (Citado na página 22.)
- TURBAN, E.; ARONSON, J. E.; LIANG, T.-P. *Decision Support Systems and Intelligent Systems (7th Edition)*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 2004. ISBN 0130461067. (Citado na página 21.)
- TWEEDALE, J. W.; PHILLIPS-WREN, G.; JAIN, L. C. Advances in intelligent decision-making technology support. In: _____. *Intelligent Decision Technology Support in Practice*. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 1–15. ISBN 978-3-319-21209-8. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-21209-8_1>. (Citado nas páginas 27, 28, 29 e 30.)
- WRIGHT, J. T. A técnica delphi: Uma ferramenta útil para o planejamento do brasil. *Encontro Brasileiro de Planejamento Empresarial- "Como Planejar*, v. 86, p. 199–207, 1985. (Citado na página 110.)
- ZAMPIERI, S. L. et al. Método para seleção de indicadores de sustentabilidade e avaliação dos sistemas agrícolas do estado de santa catarina. Florianópolis, SC, 2003. (Citado na página 137.)
- ZORZO, C. R. B. *Caracterização e desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade para os sistemas de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil*. [S.l.: s.n.], 2015. (Citado nas páginas 129 e 139.)

Método SustenAgro de Avaliação de Sustentabilidade

Este anexo apresenta os principais conceitos relacionados com a avaliação da sustentabilidade segundo os fins do projeto SustenAgro, e como foram usados no processo de avaliação de sustentabilidade.

A.1 Sustentabilidade

Não existe um consenso sobre a definição de sustentabilidade, mas uma definição orientadora para os fins do presente projeto é a seguinte:

“O desenvolvimento sustentável prevê o atendimento das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades, Brundtland Commission” [Burton \(1987\)](#), [Brundtland et al. \(1987\)](#)

Este conceito foi ratificado pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92 [Ehlers \(1996\)](#) a Rio+20 [ONU \(2012\)](#), após do relatório Brundtland a ênfase do conceito desloca-se da integridade ambiental para o elemento humano, gerando um equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental [Bellen \(2005\)](#).

[Gliessman \(2001\)](#) teoriza que não há como encontrar a sustentabilidade e, portanto, o seu conceito mais representativo, pois a mesma permanece sempre no futuro, dado o compromisso que os sistemas têm de garantir as necessidades das gerações futuras. Assim, a sustentabilidade é algo relativo ao tempo, ou seja, um sistema pode ser mais ou menos sustentável que

outro dependendo do tempo em que for avaliado e do entendimento da sustentabilidade neste contexto.

A sustentabilidade está vinculada a vários domínios de conhecimento, um deles é a sustentabilidade em agricultura, que é de especial interesse na segurança alimentar. Em 2050 a população mundial atingirá 9.1 bilhões de pessoas FAO (2013), o qual imporá enormes desafios para garantir a sustentabilidade em meio do aumento de alimentos, por isso são necessários incentivos e políticas para garantir a sustentabilidade em agricultura, a través da geração de estratégias que permitam conhecer o estado dos sistemas produtivos e melhorar segundo as necessidades identificadas.

Segundo [Ittersum et al. \(2008\)](#) os sistemas agrícolas evoluem continuamente e são afetados por uma gama de forças globais e locais, os aspectos que mais influenciam na sustentabilidade da agricultura são os tecnológicos e políticos, permitindo identificar e melhorar diversos aspectos da produção agrícola.

Uma estratégia para quantificar a sustentabilidade são a definição métodos e metodologias de avaliação, as quais utilizam indicadores, um exemplo deste enfoque é exposto por [Olsson et al. \(2009\)](#) que desenvolveu um *framework* de indicadores que relaciona de uma maneira consistente as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável, seu principal benefício é uma relativa simplicidade na apresentação da informação e a possibilidade de vincular os indicadores com objetivos políticos de cada dimensão da sustentabilidade e assim facilitar a comparação dos impactos das novas políticas em cada dimensão.

A.2 Dimensões da Sustentabilidade

As dimensões da sustentabilidade são classificações que permitem identificar e agrupar conceitos de sustentabilidade([OLSSON et al., 2009](#)), dependendo da teoria de sustentabilidade escolhida, existem diversas propostas de dimensões que podem ser usadas segundo a finalidade da pesquisa, um exemplo desta classificação é a assumida na pesquisa de [Cardoso \(2013\)](#) onde são definidas seis dimensões da sustentabilidade: Ambiental, Social, Agrícola/Industrial, Produtos/Subprodutos, Tecnológica e Política.

No caso do sistema SustenAgro determinou-se pela equipe de especialistas em sustentabilidade fazer uma divisão segundo a proposta do Relatório Brundtland ([BRUNDTLAND et al., 1987](#)), onde foram identificadas as três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômica, as quais têm a mesma importância gerando um equilíbrio.

Ditas dimensões são sistemas complexos que integram fenômenos de natureza diversa ([SIMON, 1991](#)), integrando três subsistemas: (i) o subsistema ambiental que fornece as condições físicas, químicas e biológicas que suportam o desenvolvimento das culturas, (ii) o

subsistema social que integra organizações e pessoas que realizam a produção, relacionando-se internamente e externamente com os sistemas produtivos e (iii) o subsistema econômico que estabelece as condições de oferta e demanda dos produtos e subprodutos do sistema de produção agrícola; das interações entre estes subsistemas, emerge um comportamento complexo que requer uma abordagem holística e inter-relacionada para suportar a tomada de decisões que garantam a sustentabilidade do sistema em análise.

A Figura 41 representa as três dimensões com a sustentabilidade como a interseção entre elas.

The Three Spheres of Sustainability



Figura 41 – Dimensões da sustentabilidade

¹ Essas dimensões serão usadas como contendedores gerais dos conceitos de sustentabilidade em agricultura permitindo agrupar conceitos relacionados.

¹ Tomada de: http://www.vanderbilt.edu/sustainvu/cms/files/sustainability_spheres.png

A.3 Critérios de sustentabilidade

São variáveis transversais quantitativas e qualitativas, que são monitoradas regularmente para determinar os efeitos das atividades de intervenção ou não-intervenção do sistema em avaliação [Filho e Zerbini \(2001\)](#), que estabelecem os preceitos de orientação para que os indicadores sejam representativos para a sustentabilidade.

Cada indicador deverá atender pelo menos um dos critérios de sustentabilidade para ser considerado um bom indicador de sustentabilidade, os critérios de sustentabilidade escolhidos pela equipe de especialistas são [Moura \(2002\)](#):

- Produtividade: Relacionado a eficiência e custos.
- Estabilidade: Capacidade do ecossistema de absorver perturbações e permanecer inalterado (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe/Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, CEPAL/PNUMA, 1994)
- Equidade: Distribuição dos produtos do agroecossistema entre produtores e consumidores (Dias Junior, 2000)
- Resiliência: Capacidade do ecossistema de retornar ao estado original após de uma perturbação (CEPAL/PNUMA, 1994)
- Autonomia: Grau de integração do agroecossistema no fluxo de materiais, energia e informação entre as partes constituintes e entre o agroecossistema e o ambiente externo (Fernández, 1995)

Esses critérios guiam o desenvolvimento dos conceitos mais relevantes das metodologias de avaliação de sustentabilidade, os indicadores, e assim determinar instrumentos de medição que representem os aspectos críticos do sistema em termos de sustentabilidade.

A.4 Atributos Norteadores

Embora a orientação para a elaboração de todas as variáveis relacionadas a projetos de sustentabilidade devam atender pelo menos a três pilares: ambiental, econômico, social, os atributos norteadores são formulados para garantir as diretrizes no levantamento e validação dos indicadores, e assim ter um modelo da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

Após a agregação dos dados será possível visualizar as informações disponíveis e eventuais lacunas para a sistematização dos componentes dos sistemas produtivos em termos dos

requisitos de sustentabilidade. Em uma primeira instância, devem ser levantados dados referentes ao solo, clima, água, ar, produção agroindustrial, divisas geradas, mão de obra envolvida, empregos gerados, doações/benefícios indiretos à sociedade, biodiversidade, etc.

Uma proposta dos atributos norteadores é a seguinte:

- Dimensão Ambiental: solo, hídrico, clima, entre outros
- Dimensão Social: saúde, capacitação, emprego, renda, entre outros
- Dimensão Econômica: industrial, agrícola, produtividade, custo, entre outros

Os atributos norteadores foram aplicados nos modelos do sistema SustenAgro como conteúdos de indicadores os quais classificaram e relacionam os indicadores em subgrupos das três dimensões da sustentabilidade, permitindo desta maneira a organização e agrupamento do conhecimento do domínio.

A.5 Método SustenAgro

Devido à importância da sustentabilidade, especialmente nos sistemas de produção agrícola, foram desenvolvidas varias métodos para avaliar o estado desses sistemas, existindo varias tendências segundo o tipo de sistema produtivo e o contexto deles.

A Embrapa Meio Ambiente coordenou e financiou o projeto SustenAgro com a finalidade de definir um método de avaliação da sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar no centro sul do Brasil, as características dele são descritas nas figuras 42 e 43, no qual foram originados os indicadores de sustentabilidade e o método de avaliação (CARDOSO, 2013; ZORZO, 2015).

Com o objetivo de desenvolver e validar uma proposta metodológica para avaliar a sustentabilidade de sistemas de produção da soja e da cana de açúcar no Centro Sul do Brasil foi formulado pela Embrapa e parceiros o Projeto SustenAgro.

O projeto tem por finalidade equacionar as principais questões referentes aos sistemas produtivos agrícolas de modo a possibilitar a utilização racional dos recursos naturais para suprir as necessidades presentes e garantir o suprimento das gerações futuras.

META GERAL
Fornecer informação técnica validada para embasar a formulação de políticas públicas no setor agrícola.

RESULTADOS ESPERADOS
Serão geradas 4 ferramentas:

- Banco de Dados SustenAgro;
- Modelo conceitual da Sustentabilidade da Agricultura;
- Metodologia de avaliação da sustentabilidade agrícola;
- Sistema de alerta sobre as vulnerabilidades agrícolas (empregando Sistema de Informação Georreferenciada).

Coordenação
Dra. Kátia Regina Evaristo de Jesus
Katia.Jesus@embrapa.br
Embrapa Meio Ambiente
Caixa postal 69
CEP 13820-000 Jaguariúna/SP
www.capma.embrapa.br

Instituições participantes:

- Embrapa Meio Ambiente;
- Embrapa Informática;
- Embrapa Soja;
- Embrapa Trigo;
- Embrapa Clima Temperado;
- Embrapa Cerrados;
- Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
- Universidade Federal de Pelotas;
- Universidade Federal de São Carlos (UFSCar);
- Centro de Tecnologia do BioEtanol (CTBE);
- Centro de Tecnologia Renato Archer (CTI / MCT);
- Agência paulista de tecnologia dos agronegócios Pólo Centro Sul/DDD/APTA – UPD Tietê APTA/SP,
- Instituto de Economia Agrícola (IEA).

Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Produção da Cana-de-açúcar e Soja na Região Centro-Sul do Brasil: Uma proposta metodológica e o modelo conceitual






Figura 42 – Descrição geral do projeto SustenAgro

O Projeto...	Alcance do projeto...	Objetivo Geral
A equipe pretende desenvolver uma Metodologia, intitulada 'Método SustenAgro', para a avaliação da sustentabilidade de dois sistemas de produção com grande expressividade para a agricultura nacional: soja e cana-de-açúcar.	O projeto prevê o levantamento de dados dos sistemas de produção mais representativos dessas culturas nas regiões e microrregiões do Centro Sul do Brasil.	Formular a 'Metodologia SustenAgro', a partir do levantamento das informações disponíveis sobre sustentabilidade da soja e cana no Centro-Sul e da validação de todas informações geradas no projeto por meio de consulta aos especialistas a partir das rodadas remotas e presenciais (painéis).
Esta nova proposta metodológica será desenvolvida através da seleção / formulação de indicadores de sustentabilidade.	Validação do Método SustenAgro...	Recorte do Projeto
Serão formulados indicadores nas dimensões ambiental, social e econômica que serão levantados a partir de dados secundários (literatura especializada, banco de dados consagrados, outros projetos da Embrapa que tratam do mesmo tema).	A Metodologia SustenAgro contará com uma primeira etapa de validação com dados de campo reais, para tanto, o Sistema será aplicado em microrregiões produtoras e dos sistemas de produção mais representativos dessas culturas no Centro Sul do Brasil.	<ul style="list-style-type: none"> • Escala Região e Microrregião • Alcance Centro-Sul • Dimensões: Ambiental, Econômica, Social. • Foco Agrícola
Os indicadores de sustentabilidade serão primeiramente avaliados e ajustados por meio da consulta aos especialistas das áreas correlatas da Sustentabilidade, em rodadas de consulta remota e presenciais.	Ao final desta proposta, a equipe contará com informações suficientemente validadas para a consolidação da Metodologia de Avaliação e as informações organizadas e sistematizadas para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.	Apoio Financeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa

Figura 43 – Descrição específica do projeto SustenAgro

O método SustenAgro foi construído a partir de literatura científica e de instituições de pesquisa como (IBGE², CONAB³) e validados por meio da técnica Delphi de consultas aos especialistas.

O método está composto de dois índices da eficiência e índice da sustentabilidade, o índice da eficiência está composto por dois fatores de eficiência tecnológica no campo e na indústria e o índice da sustentabilidade está composto pelas dimensões ambientais, econômica e social.

Índice de eficiência:

As equações para calcular o índice da eficiência são:

Formula de eficiência tecnologia no campo:

² IBGE: Brazilian Institute of Geography and Statistics, <<http://www.ibge.gov.br/home/>>

³ CONAB: National Supply Company, <<http://www.conab.gov.br/>>



Marca registrada pela equipe do Projeto

$efficiency(field) = \sum(CharacteristicInTheField * RelevanceForTheProductionEnvironment) * correctionFactor(0.8)$

Formula de eficiência tecnologia na industria:

$efficiency(industry) = \sum(CharacteristicOfProcessing * SugarcaneProcessingOptimization) * correctionFactor(0.2)$

Formula de eficiência produtiva e de custo:

$efficiencyAndCost = \sum(SugarcanEquality + \sum(Logistic + MarketVariables + Policies + Productivity))$

Índice de eficiência:

$EfficiencyIndex = \sum(efficiency(filed) + efficiency(industry)) * efficiencyAndCost$

Índice de sustentabilidade

As equações para calcular o índice de sustentabilidade são:

Formula de eficiência tecnologia no campo:

$EnvironmentalIndex = \sum(EnvironmentalIndicator * EnvironmentIndicatorWeight)$

Formula de eficiência tecnologia na industria:

$EconomicIndex = \sum(EconomicIndicator * EconomicIndicatorWeight)$

Formula de eficiência produtiva e de custo:

$SocialIndex = \sum(SocialIndicator * SocialIndicatorWeight)$

Índice de eficiência:

$SustainabilityIndex = \sum(EnvironmentalIndex + EconomicIndex + SocialIndex) / 3$

A.6 Matriz de sustentabilidade

Os índices de eficiência e de sustentabilidade quantificam a sustentabilidade de uma unidade produtiva, e são representados por meio de uma matriz que tem como finalidade relacionar o resultado da avaliação com determinadas classificações correspondentes a cada um dos quadrantes da matriz, a figura 44 representa cada uma das classificações com os limiares correspondentes a cada índice.

A.7 Conclusões

O método de avaliação de sustentabilidade foi validado pelos especialistas e depois de varias iterações definiu-se uma versão estável, que foi usada no desenvolvimento do Sistema SustenAgro, dito método é mantido e atualizado pela Embrapa Meio Ambiente e os desenvol-

461-800 Very Favorable Efficiency	9	10	11	12
161-460 Favorable Efficiency	5	6	7	8
-146-160 Unfavorable Efficiency	1	2	3	4
	(-60) to (-31) Very low performance of the indicators	(-30) to 00 Low performance of the indicators	01 to 30 Average performance of the indicators	31 to 60 Good performance of the indicators

Figura 44 – Matriz de sustentabilidade

vedores de software garantem que ele se aplique corretamente mas não tem responsabilidade nenhuma pelas consequências do uso dele.

Indicadores de Sustentabilidade

B.1 Índice de Sustentabilidade

Revela o estado de um sistema ou fenômeno, é uma síntese das características ou variáveis analisadas. Um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos. Entende-se o termo índice como um valor numérico que representa a correta interpretação da realidade de um sistema simples ou complexo (natural, econômico ou social), utilizando, em seu cálculo, bases científicas e métodos adequados. O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão, e é considerado um nível superior da junção de um jogo de indicadores ou variáveis ([R AGOSTINHO F, 2007](#))

No projeto SustenAgro os índices serão dados numéricos gerais representam a soma do estado de cada indicador em cada dimensão e atributo norteador, cada indicador pode o valor de mais um ou menos um (+1 -1), que permitira quantificar a sustentabilidade em cada aspecto do sistema produtivo e fazer comparações com outros sistemas produtivos compatíveis.

B.2 Limiares de Sustentabilidade

Os limiares são os pontos mínimo e máximo aceitáveis na amplitude da sustentabilidade para cada indicador.

Considerando que a sustentabilidade permanece sempre no futuro ([GLIESSMAN, 2001](#)), dado o compromisso que os sistemas têm de garantir as necessidades das gerações futuras, a sustentabilidade será considerada como algo relativo no espaço e no tempo, ou seja, um sistema

pode ser mais ou menos sustentável do que outro.

Esta representação será realizada pelos limiares de sustentabilidade que poderão variar de acordo com o sistema de produção considerado e, principalmente, deve variar de modo a representar com propriedade das especificidades regionais e microrregionais.

Dentro de uma escala, devem ser estabelecidos limiares críticos, ou seja, aqueles em que concordamos que determinada situação (característica, produto, serviço) apesar de não ser totalmente sustentável possui níveis de sustentabilidade aceitáveis para que a sustentabilidade seja efetiva (verdadeira), apesar de não ser a ideal. O limiar é um ponto que estabelece um limite, geralmente é o princípio, mas no nosso caso, são os limites que apontam que determinada característica, produto, ou serviço, está dentro do que for considerado sustentabilidade, serão os pontos mínimo e máximo aceitáveis na amplitude da sustentabilidade.

Dentro desta escala, estabelecemos limiares críticos, ou seja, aqueles em que concordamos que determinada situação (característica, produto, serviço) apesar de não ser totalmente sustentável (nota máxima), possui níveis de sustentabilidade aceitáveis para que a sustentabilidade seja efetiva (verdadeira), apesar de não ser a ideal. Neste caso, o limiar mínimo de sustentabilidade assumiria um valor variável.

Exemplo de limiar da sustentabilidade que poderão ser empregados pela equipe do projeto:

- Nome do Indicador: Distância Usina / Área de Produção de cana
- Descrição do indicador: usualmente, em tradicionais regiões produtoras de cana utiliza-se de uma distância econômica padrão da produção de 50 quilômetros até a indústria. Esta distância é determinada pelos altos custos de transporte da cana até a unidade industrial, sendo um dos fatores decisivos na rentabilidade da lavoura (CNA/SENAR, 2007).
- Limiares de sustentabilidade, teria dois estados possíveis
 - Distância de até 50 km: Mais sustentável (+1)
 - Distância de mais de 50 km: Menos sustentável (-1)

Baseando-se nesse conceito sobre limiares é possível desenhar metodologias de avaliação onde sejam usados os valores numéricos de cada limiar para fazer comparações, o que permite definir se determinado sistema produtivo e/ou contexto é mais sustentável do que outro sistema produtivo e/ou contexto.

B.3 Indicadores de Sustentabilidade

Os indicadores são instrumentos usados para avaliar uma determinada realidade levando em conta variáveis pertinentes para sua composição. Além da avaliação, o uso de indicadores permite medir e monitorar aspectos da realidade. Ele agrupa, quantifica e simplifica informações sobre fenômenos complexos de modo que as tendências ficam mais significativas e aparentes, a fim de melhorar o processo de entendimento e comunicação([BOSSEL, 1999](#); [BELLEN, 2005](#)).

De acordo com ([GALLOPÍN, 1996](#)) os melhores indicadores são aqueles que simplificam as informações relevantes, tornando os fenômenos mais claros. Como um indicador é utilizado para atingir diversos objetivos, é necessário definir um requisito geral para selecionar indicadores e validar a escolha. A finalidade de um indicador de sustentabilidade é refletir as alterações nas propriedades fundamentais de um sistema [Camino e Müller \(1993\)](#) e advertir sobre eventuais perturbações potenciais. ([FERRAZ, 2003](#))

Normalmente um indicador é utilizado como um pré-tratamento aos dados originais [R Agostinho F \(2007\)](#). Indicadores são parâmetros que podem ser utilizados como medida do cumprimento dos critérios ([MORET; RODRIGUES; ORTIZ, 2006](#)). Deve-se observar que não é possível o desenvolvimento de um indicador global, por isso é necessário buscar no tempo a evolução da sustentabilidade dos sistemas ([CAMINO; MÜLLER, 1993](#)). Não há indicadores universais, pois eles podem variar segundo o problema ou objetivo da análise.

Enquanto às características desejáveis para um bom indicador, deve-se ter uma boa definição da fonte dos dados base para o levantamento, possibilidade de calibração, possibilidade de comparação com critérios legais ou outros padrões/metas existentes, facilidade e rapidez de determinação e interpretação, grau de importância e validação científica, sensibilidade do público-alvo, custo de implementação e possibilidade de ser rapidamente atualizado. Nessa mesma linha, ([ZAMPIERI et al., 2003](#)) baseado em vários autores, cita como requisitos para a seleção de indicadores de avaliação de sustentabilidade:

- i. Serem mensuráveis quantitativa e qualitativamente, além de terem pertinência ao objeto e à natureza do processo avaliado;
- ii. Poder coletar as informações por baixo custo, ser de fácil execução e apresentar dados cientificamente válidos;
- iii. Serem concebidos para que o agricultor participe das medições, adaptados às necessidades dos usuários da informação e estarem embasados em linguagem clara;
- iv. Serem sensíveis às mudanças do sistema ao detectar a magnitude dos desvios e tendências, oferecendo prognósticos e perspectivas para planejar e tomar decisões;

- v. Fornecerem indicação clara a respeito da sustentabilidade do sistema estudado e refletirem os impactos estudados sob o enfoque integrado;
- vi. Representarem padrões ecológicos, sociais, econômicos e espaciais, que tenham correspondência e sensibilidade com o nível de agregação do sistema considerado;
- vii. Conter um nível de agregação que permita comparações individuais, intertemporais e o cruzamento com outros indicadores;
- viii. Fornecerem informações para avaliar os trade-offs entre as dimensões da sustentabilidade e correlações com os processos dos ecossistemas;
- ix. Poder ter repetibilidade, de modo que as medições possam ser realizadas por diferentes pessoas e que os resultados sejam comparáveis
- x. A construção do indicador deve observar parâmetros politicamente corretos.

A OECD (1993) estabelece três requisitos para selecionar indicadores: relevância política e utilidade para usuários, solidez analítica e mensurabilidade.

Alguns exemplos de indicadores levantados no desenvolvimento do método SustenAgro são:

- i. Risco climático;
- ii. Diversidade de culturas anuais;
- iii. Tipo de solo;
- iv. Risco de deficit hídrico;
- v. Produtividade da terra;
- vi. Renovabilidade energética nos sistemas de produção;
- vii. Balanço de nutrientes (nitrogênio e fósforo);
- viii. Área de cultivo/áreas preservadas.

Os indicadores do presente projeto são uma representação dos fatores críticos que existem no sistema de produção de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil em cada dimensão da sustentabilidade, pelo qual a metodologia e o sistema SustenAgro é aplicável nesse contexto, no caso de quer aplicar o sistema de avaliação da sustentabilidade em outro contexto é necessário mudar os indicadores a cada contexto específico.

B.4 Dados fornecidos pela Unidade de Meio Ambiente da Embrapa

A principal fonte de dados para este projeto foi fornecida pela pesquisa de [Cardoso \(2013\)](#), onde inicialmente foram identificados 62 indicadores de sustentabilidade no sistema de cana-de-açúcar, os quais foram analisados e caracterizados, gerando 39 indicadores como os mais relevantes [ZORZO \(2015\)](#), por meio de uma validação com porcentagem maior ou igual a 60% feita por uma comunidade de especialistas em sustentabilidade.

A seguintes tabelas mostram os indicadores resultantes, os quais foram classificados nas três dimensões da sustentabilidade.

Os indicadores da tabela 3 representam os valores críticos da dimensão ambiental integrando fenômenos do solo, dos recursos hídricos e climáticos, os quais permitem caracterizar, quantificar e comparar o estado da dimensão ambiental de uma unidade produtiva com outras.

Indicadores da dimensão ambiental
Quantificação da erosão potencial segundo a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – Universal Soil Loss Equation)
Compactação do solo
Ocorrência de queimada de palha no campo
Emissão e suspensão de micropartículas (fuligem)
Localização geográfica da cultura em relação à aptidão agroclimática
Localização geográfica da cultura em relação à aptidão edáfica
Localização geográfica da cultura em relação à aptidão edafoclimática
Áreas de Preservação Permanente (APP) recuperadas/conservadas
Comprovação de averbação da área de Reserva Legal
Cumprimento com os Termos de Compromisso de Recuperação Ambiental

Tabela 3 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão ambiental

Os indicadores da tabela 4 representam os valores críticos da dimensão social integrando fenômenos de emprego, saúde e treinamento, os quais permitem caracterizar, quantificar e comparar o estado da dimensão social de uma unidade produtiva com outras.

Indicadores da dimensão social
Poder de compra do trabalhador
Taxa de formalidade do emprego
Índice Parcial de Educação
Índice de internações decorrentes de problemas respiratórios
Registro de treinamentos, capacitação ou requalificação de trabalhadores

Tabela 4 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão social

Os indicadores da tabela 5 representam os valores críticos da dimensão econômica integrando fenômenos de emprego, saúde e treinamento, os quais permitem caracterizar, quantificar e comparar o estado da dimensão social de uma unidade produtiva com outras.

Indicadores da dimensão econômica
Indicadores Agrícola/Industrial
Implantação de biorrefinarias
Rotação de cultura (soja)
Área planta/Área colhida
Atender à Norma Regulamentadora (NR-31)
Longevidade da cana
Distância usina/produção de cana
Controle de pragas favorecidas pela não-queima
Cana queimada manual
Adoção do plantio direto
Predominância da conversão de pastagem em cana-de-açúcar, do que outras culturas/florestas em cana-de-açúcar
Ocorrência de reutilização de recursos hídricos
Condições favoráveis à mecanização
Otimização do transporte da cana
Consumo de diesel
Variedades melhoradas para condições eco regionais mais específicas
Indicadores Produtos/Subprodutos
Relação preço gasolina/etanol
Inclusão do Etanol como Commodity
Adoção da tecnologia flex-fuel por outros países
Regulação de comércio de distribuição
Número de contrato para fornecer bioeletricidade
Infraestrutura para a produção de biocombustíveis de 2 ^a . e 3 ^a . gerações
Indicadores Tecnológicos
Desenvolvimento de leveduras mais resistentes a concentrações elevadas de álcool (Fermentação Extrativa)
Indicadores Políticos
Iniciativas do poder público com a proteção ao ambiente

Tabela 5 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão econômica

Cada um dos anteriores indicadores foram definidos com um conjunto de pelo menos um componente de indicador, estes componentes permitem quantificar por meio de uma variável quantitativa o estado do indicador, os quais estão definidos em termos do domínio que

são de fácil interpretação pelas pessoas relacionadas com sustentabilidade em agricultura.

B.5 Considerações finais

Os dados e especificações fornecidos pela Embrapa Meio Ambiente e pela APTA conseguiram explicar o conceito de avaliação de sustentabilidade segundo a visão da Embrapa Meio Ambiente, mas a complexidade envolvida requereu identificar um tipo de KOS que permita representar cada um dos conceitos necessários que compõem o processo de avaliação da sustentabilidade.

Dito KOS precisa ser flexível e de fácil uso para conseguir se adaptar às mudanças do domínio, devido a que durante o processo de modelagem avalia a coerência dos dados, permitindo assim melhorar as especificações de dito domínio.

Instalação

A instalação dos Sistemas Decisioner e SustenAgro divide-se em dois processos, a configuração do servidor web e o deploy do arquivo Web Application Archive (WAR), a continuação são descritos ambos processos:

C.1 Configuração do servidor.

Esta fase do processo consiste em instalar as tecnologias Java, Apache Tomcat, WkHtmltoPdf e a triplestore Blazegraph, em um servidor baseado em linux, atualmente o sistema foi configurado e testado em uma maquina virtual com Ubuntu 14.04, Java OpenJDK 8, Apache Tomcat, WkHtmltoPdf 0.12.3 e a triplestore Blazegraph 2.1.0, a instalação destas tecnologias segue uma orientação padrão que sera descrita a continuação:

Instalação do Java:

Segundo a documentação de Java OpenJDK, a instalação é realizada por meio do comando:

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get install openjdk-8-jre
```

Instalação do Apache Tomcat

A instalação do Apache Tomcat depende da instalação do Java 8, e o Tomcat versão 7 para suportar a compatibilidade do War gerado, isto é documentado no site¹ do framework

¹ <https://grails.org/wiki/Deployment>

Grails, que exige uma versão 7 de Apache Tomcat para suportar o deploy dos arquivos WAR.

O processo de instalação consiste em fazer download dos arquivos binários, extrair eles em /opt/tomcat/, exportar as variáveis de entorno e executar o Web Server, o código é mostrado a continuação:

```
wget http://www-eu.apache.org/dist/tomcat/tomcat-7/v7.0.70/bin/  
apache-tomcat-7.0.70.tar.gz
```

```
tar xvzf apache-tomcat-7.0.70.tar.gz -C /opt/tomcat
```

```
sudo /opt/tomcat/bin/startup.sh
```

Configurar users de Tomcat em: /opt/tomcat/conf/tomcat-users.xml e acrescentar os Rol e User

```
<role rolename="manager-gui"/>  
<user username="admin" password="s3cr3t" roles="manager-gui"/>
```

Depois disso, é registrado no final do arquivo ~/.bashrc os próximos dois comandos que definem as variáveis de entorno

```
export JAVA_HOME=/usr/lib/jvm/java-1.8.0-openjdk-amd64  
export CATALINA_HOME=/opt/tomcat
```

Finalmente executar o comando

```
sudo /opt/tomcat/bin/startup.sh
```

e verificar a execução do programa na url /manager do domínio do servidor

Instalação do WkHtmltoPdf

A tecnologia WkHtmltoPdf permite converter páginas web em formato HTML a Portable Document Format (PDF), esta ferramenta suporta a funcionalidade de gerar os relatórios em formato PDF, a instalação consiste em fazer download dos arquivos binários e a configuração de um X Server Virtual para suportar o renderizado, os comandos são mostrados a continuação:

```
wget http://download.gna.org/wkhtmltopdf/0.12/0.12.3/  
wkhtmltox-0.12.3_linux-generic-amd64.tar.xz
```

```
tar xf wkhtmltox-0.12.3_linux-generic-amd64.tar.xz
```

```
cp wkhtmltox/bin/wkhtmltopdf /usr/local/bin/wkhtmltopdf
```

```
sudo chmod a+x /usr/local/bin/wkhtmltopdf
```

```
sudo apt-get install openssl build-essential xorg libssl-dev
```

Depois disto é criado um script wkhtmltopdf.sh em /usr/local/bin/ e contem o seguinte comando:

```
xvfb-run -a -s "-screen 0 640x480x16" wkhtmltopdf "$@"
```

```
sudo chmod a+x /usr/local/bin/wkhtmltopdf.sh
```

Com o comando wkhtmltopdf.sh é possível converter a PDF desde um sistema sem X11

Instalação da Triplestore Blazegraph

A instalação do Blazegraph consiste em fazer download do arquivo binário e executar com o arquivo de configuração RWStore2.properties o serviço de triplestore.

```
wget https://sourceforge.net/projects/bigdata/files/bigdata/2.1.1/blazegraph.jar
```

```
wget https://dl.dropboxusercontent.com/u/24827919/SustenAgro/RWStore2.properties
```

```
java -server -Xmx4g -Dbigdata.propertyFile=RWStore2.properties -jar blazegraph.jar
```

C.2 Deploy do arquivo WAR

O deploy do sistema consiste em executar os serviços do Tomcat 7 e Triplestore, e fazer upload do arquivo SustenAgro-1.0.war ao servidor Apache Tomcat para fazer o deploy no path “/”, e finalmente reiniciar o Tomcat.

```
wget https://dl.dropboxusercontent.com/u/24827919/SustenAgro/sustenagro-1.0.war
```


Formulários de avaliação

D.1 Formulário de avaliação SustenAgro

O processo consiste em realizar cinco tarefas descritas a continuação, e responder as seguintes três perguntas para cada tarefa:

- Conseguiu realizar a tarefa?
- Teve algum problema/dúvida durante a realização da tarefa?
- Tem sugestões que permitam melhorar/facilitar a realização da tarefa?

Tarefa 1

Cadastrar usuário:

- i. Ingressar no software SustenAgro em <http://java.icmc.usp.br:1300/>
- ii. Dar click na opção de 'Inscrever-se' e ingressar no formulário de cadastro de novo usuário
- iii. Preencher o formulário e enviar
- iv. Ingressar ao sistema com seus dados cadastrados.

Tarefa 2

Cadastrar uma unidade produtiva:

- i. Dar click no link de 'Avaliação'

ii. Cadastrar no formulário de uma nova unidade produtiva.

iii. Preencher o formulário e enviar

Tarefa 3

Preencher dados da avaliação:

Se a anterior tarefa foi realizada com sucesso, o sistema vai encaminhá-lo ao formulário de nova avaliação, em caso negativo pode dar click no botão 'Análises' e 'Nova Análise', para realizar:

i. Preencher alguns dados de avaliação de eficiência e custo

ii. Preencher alguns dados de avaliação da sustentabilidade

iii. Solicitar avaliação por meio do botão 'Avaliar'

Tarefa 4

Visualizar os resultados:

Se a anterior tarefa foi realizada com sucesso, o sistema vai encaminhá-lo a tela de 'Resultados da avaliação', em caso negativo pode dar click no botão 'Análises' e selecionar a análise cadastrada, para realizar:

i. Visualizar a planilha de eficiência e custo

ii. Visualizar a planilha de sustentabilidade

iii. Visualizar o relatório da avaliação

iv. Visualizar os dados da avaliação na aba 'Avaliação'

Tarefa 5

Editar avaliação:

i. Na tela de 'Resultados da avaliação' selecionar a aba 'Avaliação'

ii. Acrescentar alguns dados de avaliação de eficiência e custo

iii. Acrescentar alguns dados de avaliação da sustentabilidade

iv. Solicitar a atualização por meio do botão 'Atualizar'

D.2 Formulário de avaliação Decisioner

O processo consiste em realizar cinco tarefas descritas a seguir, e responder as seguintes três perguntas para cada tarefa:

- Conseguiu realizar a tarefa?
- Teve algum problema/dúvida durante a realização da tarefa?
- Tem sugestões para melhorar/facilitar a realização da tarefa?

As seguintes tarefas devem ser realizadas na interface de administração do sistema:

Tarefa 1

Cadastrar novo indicador

- i. Ingressar com login de administrador no software SustenAgro em <http://java.icmc.usp.br:1300/>
- ii. Dar click no link 'Ontology'
- iii. Clicar em Feature, Indicador, Indicador de Sustentabilidade e Dimensão Social
- iv. Cadastrar uma nova dimensão, atributo e indicador a partir da linha 1020 no seguinte formato:

Listagem D.1 – Código de novo indicador

AgriculturalIndicator :

```
is_a : SustainabilityIndicator  
relevance: 1.0  
label:  
  – Agricultural dimension @en  
  – Dimensão agrícola @pt
```

DeforestationAttribute :

```
is_a : AgriculturalIndicator  
label:  
  – Atributo desmatamento @pt  
  – Deforestation attribute @en
```

DeforestationIndicator :

```

is_a: DeforestationAttribute
label:
  - Indicador desmatamento @pt
  - Deforestation indicator @en
relevance: 2.0
value: YesNo

```

- v. Dar click na opção “Save”
- vi. Acrescentar a nova dimensão na DSL, clicando na Aba DSL e no link Main adicionar na linha 106 o seguinte código

Listagem D.2 – Adição de feature na DSL

```
feature ':AgriculturalIndicator'
```

- vii. Dar click na opção “Save” - Procurar o indicador cadastrado na interface de Usuário, na tela de Usuário na aba Avaliação selecionar uma Unidade Produtiva e ir em Nova Avaliação

Tarefa 2

Editar a formula de avaliação

- i. Dar click no link 'DSL'
- ii. Procurar o comando Report e editar algum valor da fórmula
- iii. Dar click na opção “Save”
- iv. Visualizar os índices de uma avaliação cadastrada no sistema por meio da aba Report, na tela de Usuário na aba Avaliação selecionar uma Unidade Produtiva, selecionar uma Avaliação e um Report ligado a ela

Tarefa 3

Editar os limiares das widgets matriz e semáforo de avaliação

- i. Dar click no link 'DSL'
- ii. Procurar o comando sustainabilityMatrix e editar o valor de range_x
- iii. Procurar o comando sustainabilitySemaphore e editar o valor de range

- iv. Dar click na opção “Save”
- v. Visualizar os índices de uma avaliação cadastrada no sistema, na tela de Usuário na aba Avaliação selecionar uma Unidade Produtiva, selecionar uma Avaliação e um Report ligado a ela

Tarefa 4

 Editar uma View

- i. Dar click no link 'Views'
- ii. Selecionar uma a view de contact
- iii. Editar o título da view por meio do comando pageHeader
- iv. Dar click na opção “Save”
- v. Visualizar a view na interface do Usuário por meio do link Contact

Tarefa 5

 Editar labels das internationalizations

- i. Dar click no link 'Internationalization'
- ii. Seleccionar ingles
- iii. Editar o texto de um label
- iv. Dar click na opção “Save”
- v. Visualizar uma view que faça uso do label editado na interface do Usuário

D.3 Formulário Delphi para Workshop SustenAgro



Workshop: Validação do Software SustenAgro (v 1.0)

Local: Embrapa Informática Agropecuária

Data: 14/7/2016

Público-alvo: Equipe do Projeto SustenAgro

Coordenação: Katia R. Evaristo de Jesus (Embrapa Meio Ambiente) e Ivo Pierozzi Junior (Embrapa Informática Agropecuária)

Objetivo deste Workshop: Avaliar a qualidade e acuidade do Software SustenAgro em termos da clareza da informação técnica apresentada nas interfaces, com vistas a garantir o entendimento do usuário e possibilitar que a avaliação da sustentabilidade do sistema de produção de cana-de-açúcar seja realizada da melhor forma possível. As informações fornecidas no questionário Mini-Delphi nesse evento serão utilizadas apenas pela equipe do projeto.

Identificação do respondente:

1. Nome: _____

2. Instituição: _____

3. Cargo/Função: _____

4. Telefones para contato:

5. E-mail: _____

Estou de acordo com as informações transcritas neste documento e autorizo que elas sejam utilizadas para as finalidades descritas acima:

Local e Data: _____

Assinatura: _____

MINI-DELPHI¹
Avaliação do Software SustenAgro – Avaliação da Sustentabilidade dos Sistemas de Produção de cana-de-açúcar

Regras para análise: assinale abaixo o grau de concordância com a relevância sobre o assunto abordado neste questionário:

- (1) Pouco adequado
- (2) Medianamente adequado
- (3) Plenamente adequado

1. Login e Cadastro do Sistema de Produção

- Cadastrar usuário e efetuar login no sistema;
- Cadastrar Sistema de produção e selecioná-las para avaliação;
- Cadastrar detalhes da avaliação;
- Instruções de uso do Software;

AVALIAÇÃO DA INTERFACE

Comentários/Melhorias:

2. Avaliação

- Efetuar avaliação por indicadores, definindo Índice de Sustentabilidade do Sistema de produção de cana;
- Efetuar avaliação variáveis de eficiência, definindo Índice de Eficiência do Sistema de produção de cana;
- Preenchimento das justificativas da ponderação dos indicadores;
- Inserção de novos indicadores específicos.

AVALIAÇÃO DA INTERFACE

Comentários / Melhorias:

3. Apresentação dos Resultados

- Planilhas para apresentação dos resultados das avaliações de Eficiência e de Indicadores;

¹ O Mini-Delphi pode ser conceituado como um processo estruturado de consulta a especialistas, que mantendo as principais características do método Delphi permite a realização de um estudo com grande agilidade em uma única sessão de trabalho ou workshop (WRIGHT, 1985; 1994).



- Acesso à visualização da Matriz de Sustentabilidade;
- Acesso à visualização do Semáforo de Sustentabilidade;
- Relatórios para visualização do Gerenciamento da Sustentabilidade;
- Relatórios de detalhes das justificativas da ponderação dos indicadores;

() AVALIAÇÃO DA INTERFACE

Comentários / Melhorias:

4. Gestão da Avaliação / Informação

- Gestão e recuperação da informação dentro do Software;
- Lista de Indicadores, lista de variáveis, criação de indicadores específicos
- Perfil do usuário e do sistema de produção avaliado.

() AVALIAÇÃO DA INTERFACE

Comentários / Melhorias:

5. Contribua com alguma(s) sugestão(ões) para melhorar a Metodologia e o Software SustenAgro:

6. De modo geral, qual foi sua impressão sobre o Software SustenAgro? O empregaria para avaliar algum sistema de produção de cana-de-açúcar?



7. INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Existe alguma informação adicional que não foi citada neste questionário e que merece ser relatada sobre o Software SustenAgro?

Sim Não

Comentários/Sugestões do respondente:

Existe alguma contribuição adicional em relação à avaliação da sustentabilidade na agricultura que merece ser relatada?

Sim Não

Comentários/Sugestões do respondente:

Comentários adicionais do respondente:

Referência citada:

WRIGHT, J. T. C. A técnica Delphi: programa de estudos do futuro. São Paulo: FEA, USP, 1994, p.31

WRIGHT, J. T. C. A técnica Delphi: Uma ferramenta útil para o planejamento do Brasil? In: Encontro Brasileiro de Planejamento Empresarial – “Como Planejar 86”, 3, 28-29 nov.1985, Anais. São Paulo: SPE – Sociedade Brasileira de Planejamento Empresarial, 1986, p. 199-207.