
Ontologias e DSLs na Geração de Sistemas de Apoio à Decisão, caso de estudo SustenAgro

John Freddy Garavito Suárez

Sumário

Sumário	3
Lista de ilustrações	6
Lista de tabelas	8
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivo	12
1.3 Resultados Principais	13
1.4 Organização	13
2 SAD	15
2.1 Arquitetura para Sistemas de Apoio à Decisão	15
2.2 SAD SustenAgro	17
2.3 Trabalhos relacionados	18
2.4 Considerações finais	19
3 CONTEXTO: ONTOLOGIAS E DSL	21
3.1 Web Semântica.	21
3.2 Ontologias	23
3.3 Resource Description Framework (RDF)	25
3.4 Web Ontology Language (OWL)	25
3.5 Domain Specific Language (DSL)	27
3.6 Considerações finais	28
4 DECISIONER	31
4.1 Arquitetura do Decisioner	31
4.2 Trabalhos relacionados	33
4.3 Metodologia	33
4.3.1 Ontologia Decisioner	34
4.4 Decisioner DSL	38
4.4.1 Evaluation Object	38
4.4.2 Feature:	39
4.4.3 Logica de avaliação:	39
4.5 TripleStore	41
4.6 Sistemas de apóio à decisão	41

4.7	Considerações finais	41
5	SUSTENAGRO	43
5.1	Arquitetura do SustenAgro	44
5.2	Metodologia.	45
5.3	Ontologia do domínio avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar	46
5.4	GUIs e Web Components	55
5.4.1	<i>User Stories</i>	55
5.4.2	<i>Scenarios</i>	57
5.4.3	<i>Storyboard</i>	59
5.4.4	<i>Mockups das Interfaces do SustenAgro</i>	61
5.4.5	<i>Protótipo da Interface Gráfica do SustenAgro</i>	63
5.5	DSL	68
5.6	Considerações Finais	71
6	AVALIAÇÃO	73
7	CONCLUSÕES	75
7.1	Discussão	75
7.2	Trabalhos Futuros	75
7.2.1	<i>Editor de ontologias web focado no usuário especialista</i>	76
7.2.2	<i>Linguagem de definição de SAD: Decisioner</i>	76
7.2.3	<i>Reportes de consultas semânticas</i>	76
7.2.4	<i>Linguagem de edição de VIEWS</i>	76
7.2.5	<i>Organização de widgets por meio de Polymer</i>	77
7.2.6	<i>Georeferência nos SAD</i>	77
7.2.7	<i>Desenvolver um framework para geração das interfaces usuário-computador geral para SAD.</i>	77
7.2.8	<i>Fornecer um sistema de classificação e busca de controles de interfaces usuário-computador</i>	77
7.3	Dificuldades e Limitações	77
	REFERÊNCIAS	79
A	MÉTODO SUSTENAGRO DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE	83
A.1	Sustentabilidade	83
A.2	Dimensões da Sustentabilidade	84
A.3	Critérios de sustentabilidade	84
A.4	Atributos Norteadores	86
A.5	Metodo SustenAgro	86
A.6	Matriz de sustentabilidade	89
A.7	Conclusões	90
B	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	91

B.1	Índice de Sustentabilidade	91
B.2	Limiares de Sustentabilidade	91
B.3	Indicadores de Sustentabilidade	92
B.4	Dados fornecidos pela Unidade de Meio Ambiente da Embrapa	94
B.5	Considerações finais	95
C	INSTALAÇÃO	97
C.1	Configuração do servidor.	97
C.1.1	<i>Instalação do Java:</i>	97
C.1.2	<i>Instalação do Apache Tomcat</i>	97
C.1.3	<i>Instalação do WkHtmltoPdf</i>	98
C.2	Deploy do arquivo war	99

Lista de ilustrações

Figura 1 – Componentes de um SAD	16
Figura 2 – SustenAgro arquitetura inicial	17
Figura 3 – História da Web Semântica	22
Figure 4 – Arquitetura em camadas da Web Semântica	23
Figura 5 – Smart data continuum: níveis de representação de dados na forma de conhecimento processável por máquinas.	24
Figura 6 – OWL2 Profiles.	26
Figure 7 – Camada da DSL	28
Figura 8 – Arquitetura do Decisioner	32
Figura 9 – Modelagem abstracto do SAD	35
Figura 10 – Modelagem de Value	36
Figura 11 – Estrutura Geral da Ontologia de Domínio	37
Figura 12 – Arquitetura de SustenAgro	44
Figura 13 – Metodologia de definição das ontologias	45
Figura 14 – Mapa conceitual da ontologia	47
Figura 15 – Mapa conceitual - Ambiental	48
Figura 16 – Mapa conceitual - Social	49
Figura 17 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica primeira parte.	50
Figura 18 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica segunda parte.	51
Figura 19 – Mapa conceitual - Método	52
Figura 20 – Modelagem unidade produtiva	53
Figura 21 – Modelagem de indicador	54
Figura 22 – Modelagem de microrregião	55
Figura 23 – StoryBoard definição da localização.	60
Figura 24 – StoryBoard seleção da unidade produtiva.	60
Figura 25 – StoryBoard preenchimento dos indicadores.	60
Figura 26 – StoryBoard avaliação de unidade produtiva	61
Figura 27 – StoryBoard cadastro de novo indicador.	61
Figura 28 – StoryBoard apresentação de resultados	61
Figura 29 – Mockup da tela inicial do SustenAgro.	62
Figura 30 – Mockup da tela de indicadores do SustenAgro.	63
Figura 31 – Protótipo do SustenAgro – Home Page.	64
Figura 32 – Cadastro de indicadores	65
Figura 33 – Planilhas de resultado da avaliação	66
Figura 34 – Matriz de sustentabilidade	67
Figura 35 – Semáforo de sustentabilidade	68

Figura 36 – Dimensões da sustentabilidade	85
Figura 37 – Descrição geral do projeto SustenAgro	87
Figura 38 – Descrição específica do projeto SustenAgro	88
Figura 39 – Matriz de sustentabilidade	89

Lista de tabelas

Tabela 1 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão ambiental	94
Tabela 2 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão social	95
Tabela 3 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão econômica	96

Lista De Abreviaturas e Siglas

AGROVOC Agricultural vocabulary

APTA Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

CEPAL Economic Commission for Latin America and the Caribbean

DSL Domain Specific Language

FAO Food and Agriculture Organization

GUI Graphical User Interface

HTML HyperText Markup Language,

Knowledge Organization System

Linked Open Data

Web Ontology Language

Web Ontology Language

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Resource Description Framework

Resource Description Framework

Domain Specific Language

Sistema de apoio à decisão

Sistemas de Apoio à Decisão

Sustainable Development Indicator

SPARQL Protocol and RDF Query Language

Unified Modeling Language

Uniform Resource Identifier

World Wide Web Consortium

Web Application Archive

Extensible Markup Language

Introdução

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) organizam e processam os dados e informações para gerar resultados de valor que auxiliem o processo de decisão em um domínio específico, ditos sistemas integram conhecimento desenvolvido pelos especialistas do domínio que fica implícito nos dados, informações e processos, dito conhecimento não é familiar para os desenvolvedores de software, o que leva a usar diversas técnicas de levantamento de requerimentos que envolvem o aprendizado de tópicos do domínio dos especialistas por parte dos desenvolvedores, este processo exige um esforço adicional por parte dos desenvolvedores do sistema e traz limitações no tempo e custo de desenvolvimento, devido a que o conhecimento precisa ser explicado por parte dos especialistas do domínio aos desenvolvedores de software, para que eles consigam entender o conhecimento e assim implementar o sistema software corretamente.

Adicionalmente, os especialistas do domínio pelo geral não tem o conhecimento de desenvolvimento de sistemas software para realizar dito processo por eles mesmos; alem disso os dois domínios, tanto dos especialistas do domínio como do desenvolvimento de software são tão amplos que precisam perfis particulares para realizar os processos corretamente, devido ao anterior foi identificado o problema da inexistência de uma representação de conhecimento para definir SADs, que tenha um formato computável, entendível e acessível pelos especialistas do domínio e desenvolvedores de software.

Como exemplo do anterior problema, podemos expor o caso dos especialistas em sustentabilidade da Embrapa Meio Ambiente, que desenvolveram o projeto SustenAgro (capítulo A), onde foi desenvolvido um método de avaliação de sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar, os especialistas precisavam implementar um SAD para disponibilizar o uso do método à comunidade interessada em realizar avaliações de sustentabilidade em cana-de-açúcar, , no caso deles foi identificado que tinham o conhecimento do domínio avaliação de sustentabilidade da cana-de-açúcar, mas não tinham o método e ferramenta software para definir dito conhecimento de maneira computável em um SAD, pelo que dito problema e caso de uso foram abordados na presente pesquisa como projeto piloto.

1.1 Motivação

A pesquisa em representação e organização de conhecimento tem alto impacto devido a fornecer métodos e ferramentas para gerenciar o conhecimento em diversos domínios, especificamente no desenvolvimentos dos SADs, pode fornecer meios de integração de conhecimento que aumentam as funcionalidades e a eficiência desses sistemas em comparação com os métodos tradicionais de desenvolvimento.

Sobre o caso específico do projeto SustenAgro, existem várias motivações para desenvolver novos meios de definição de SAD, entre eles está principalmente o fornecimento de um método e ferramenta para que os especialistas do domínio definiam o conhecimento nos SADs, permitindo a participação deles como descritores de conhecimento específico, também temos que a avaliação da sustentabilidade da cultura de cana-de-açúcar está em continua mudança ([CARDOSO, 2013](#)), pelo que existe a necessidade de fornecer meios computáveis de representação desse conhecimento que adaptem-se às mudanças do domínio e que facilite a comunicação entre os especialistas do domínio e os desenvolvedores de software.

Além disso, permitira definir SADs com menos intervenção por parte dos não especialistas do domínio, fazendo que a definição do conhecimento fique em termos dos especialistas e gerenciadas por eles mesmos, fornecendo a possibilidade de que descrevam características particulares que requerem profundo conhecimento do domínio, finalmente fornecera aos desenvolvedores tempo adicional para dedicar-se aos assuntos próprios da computação, e assim agilizar o processo de desenvolvimento de SADs.

Na representação de conhecimento existem vários tipos de sistemas de organização de conhecimento (pelas siglas em inglês), um dos sistemas mais completos são as ontologias que permitem definir, classificar, relacionar e inferir conhecimento, e como deseja-se um meio que suporte vários aspectos do conhecimento, se definiu usar este tipo de KOS no processo de modelagem, fornecendo um caso real de aprendizagem e implementação de ontologias.

A Embrapa Meio Ambiente também tem outros SAD que podem ser avaliados e modelados com a finalidade de desenvolver um método e ferramenta geral de definição de SADs.

1.2 Objetivo

Desenvolver um método e ferramenta web baseados em ontologias que permita representar o conhecimento dos especialistas do domínio para suportar definição de SADs, e provar o funcionamento por meio da definição do SAD SustenAgro, que tem como finalidade suportar a avaliação da sustentabilidade nos sistemas produtivos de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil

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

Objetivos específicos

- Desenvolver um método de definição de SAD por parte dos especialistas.
- Definir uma arquitetura e ferramenta para definir SADs baseados em conhecimento de domínios específicos.

- Desenvolver uma ontologia sobre avaliação da sustentabilidade nos sistemas produtivos de cana-de-açúcar do centro sul do Brasil, como base conceitual e tecnológica do sistema SustenAgro.
- Desenvolver uma ontologia sobre controles visuais para suportar a geração da interface gráfica do SAD SustenAgro.
- Desenvolver uma DSL que gerencie as ontologias e que flexibilize a definição da interface de usuário por parte dos administradores do sistema.
- Demonstrar que o método e ferramenta de definição de SADs por parte dos especialistas, permite a geração de sistemas funcionais.

1.3 Resultados Principais

Os principais resultados desta pesquisa e projeto de mestrado são:

- Método e ferramenta para definir SADs por parte dos especialistas do domínio.
- Ontologia sobre avaliação de sustentabilidade em cana-de-açúcar, representando os principais conceitos desse domínio: indicadores, os índices e o método de avaliação; permitindo assim suportar o desenvolvimento das outras tecnologias do presente projeto.
- Ontologia sobre interfaces gráficas que permite representar os tipos de dados e widgets necessários para a geração dos Sistemas de Apoio na Decisão.
- DSL: linguagem de domínio específico que permite gerenciar ontologias para definir sistemas de apoio à decisão.
- Protótipo do Decisioner: Sistema gerador de SADs, que suporta a integração de ontologias e DSL em ambientes web.
- SustenAgro: Sistema de Apoio a Decisão para avaliar a sustentabilidade em cana-de-açúcar, implementando o método SustenAgro e tecnologias da web semântica.
- Artigo “Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Method” submetido no periódico acadêmico “Energy for sustainable Development” ISSN: 0973-0826 submetido na data 23 de dezembro do 2016.

1.4 Organização

Este trabalho de dissertação está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 2: Apresenta o SAD SustenAgro e os trabalhos relacionados sobre geração de Sistemas de Apoio à Decisão e os Sistemas de Avaliação da Sustentabilidade para representar o estado da arte da presente pesquisa.

Capítulo 3: Apresenta a fundamentação teórica sobre Ontologias e DSL com a finalidade de descrever as principais tecnologias e a teoria necessária para desenvolver o presente trabalho.

Capítulo 4: Apresenta o protótipo do sistema Decisioner que permite suportar a geração de Sistemas de Apoio à Decisão.

Capítulo 5: Apresenta o SAD SustenAgro, desenvolvido na presente pesquisa e que se serviu como primeiro caso de uso do sistema Decisioner, para definir a arquitetura dele e demonstra a funcionalidade do sistema desenvolvido.

Capítulo 6: Apresenta a avaliação realizada pelos especialistas.

Capítulo 7: Apresenta as conclusões do presente trabalho, uma discussão e possíveis trabalhos futuros.

Finalmente são apresentados os anexos que descrevem conceitos específicos do trabalho.

SAD

A construção de sistemas que sejam capazes de fornecer um suporte ao gestor em um processo de tomada de decisões vem sendo um desafio ao longo dos anos, os SADs são sistemas software que visam melhorar a tomada de decisão individual ou grupal, combinando o conhecimento do tomador(es) de decisão com dados relevantes de fontes confiáveis, nos quais são aplicados métodos e modelos matemáticos para suportar o analise, comparação e escolha de alternativas no processo de decisão [Tweedale, Phillips-Wren e Jain \(2016\)](#)

SADs auxiliam tomadores de decisão dando-lhes um maior entendimento do domínio, eles combinam as habilidades e as metodologias dos especialistas (humanos)[Heinzle, Gauthier e Fialho \(2010\)](#), à capacidade dos computadores de acessar dados, estruturar eles em modelos, interpretar, formular e avaliar alternativas e cenários distintos onde podem haver possíveis soluções para os problemas que se querem solucionar [Lu et al. \(2006\)](#).

SADs são criados por especialistas nas áreas de domínio nas quais eles serão aplicados e implementados por programadores, esse pode ser um processo lento e custoso, já que os dois grupos de profissionais têm *Backgrounds* diferentes e vão ter problemas de comunicação durante o processo de criação e testes de um SAD. Esses profissionais podem ser até de organizações diferentes, o que dificulta ainda mais o processo.

2.1 Arquitetura para Sistemas de Apoio à Decisão

Durante a evolução dos SAD, tem acontecido varias melhoras na arquitetura deles, a tendência é a integração com os métodos de inteligencia artificial para estender a aplicabilidade dos SAD a problemas complexos, gerando os Intelligent Decision Support System (IDSS) que se caracterizam por ter agentes inteligentes, entre os métodos usados estão as bases de conhecimento que suportam a inferência, permitindo o desenvolvimento de Expert Systems e Knowledge Based Systems sistemas são classificados como Rule Based Systems[Tweedale, Phillips-Wren e Jain \(2016\)](#), este tipo de sistemas conformam o escopo da pesquisa apresentada neste documento.

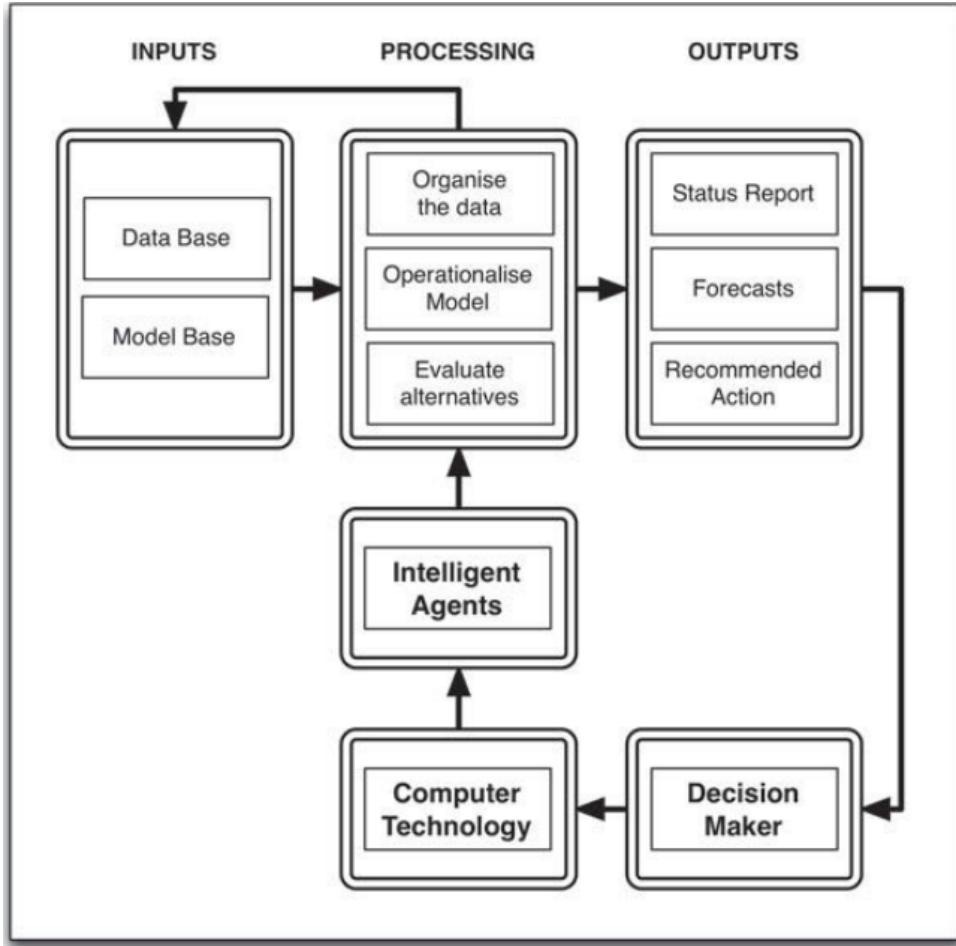


Figura 1 – Componentes de um SAD .

A Figura 1 mostra os componentes de um SAD [Tweedale, Phillips-Wren e Jain \(2016\)](#), que são descritos a continuação:

Inputs Corresponde à entradas do sistema, que está composta do conhecimento dos especialistas que pode estar representada em uma base de conhecimento, e dos dados que serão processados, que podem estar em um banco de dados, estes dois componentes devem ser o mais precisos e completos possíveis para garantir boas respostas do sistema.

Processing Está composta pelos modelos e métodos de organização e processamento dos dados, e restrições para avaliar as alternativas de resposta, este componente contem os métodos matemáticos que processam os dados, permitindo gerar os resultados do sistema.

Outputs São os resultados do processamento dos inputs e permite comparar as alternativas de decisão, como saídas comuns estão os relatórios, previsões e recomendações, os quais são apresentados por meio de uma interface de usuário para facilitar o entendimento e interação com o usuário

Os SAD contem o conhecimento dos especialistas implícito nos componentes dele, uma das mudanças da arquitetura realizada no presente trabalho, foi que o conhecimento do especialista ficasse agrupado em uma ontologia que permite definir, classificar, relacionar e inferir conhecimento, com

a finalidade de facilitar a definição e atualização de conceitos por parte dos especialistas, permitindo que eles mesmos descrevam o domínio sem precisar de desenvolvedores, e a partir dessa definição computável será gerado o SAD, os especialistas desse domínio terão familiaridade com os termos da ontologia e poderão especificar grande parte 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.

2.2 SAD SustenAgro

O SAD Sustenagro requerido pelos especialistas em sustentabilidade da Embrapa Meio Ambiente requiriu inicialmente as seguintes características:

- Sistema web com banco de dados que armazene e recupere as informações do sistema.
- Integração e implementação do método SustenAgro de avaliação da sustentabilidade descrito no apêndice A
- Suporte para adaptar o método SustenAgro a outras culturas.
- Integração com os sistemas de georreferenciação.
- Desenvolvimento de widgets específicas Sustainability Matrix e Sustainability Semaphore
- Geração de relatórios e de recomendações de sustentabilidade.

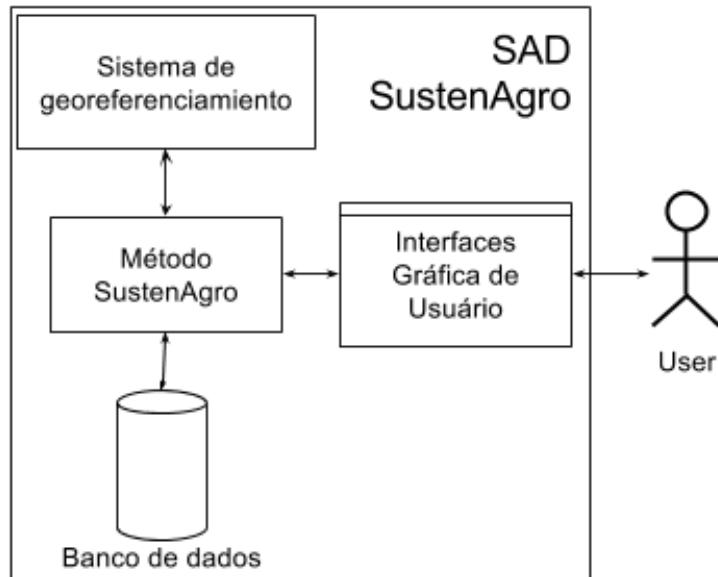


Figura 2 – SustenAgro arquitetura inicial

A figura 2 mostra a arquitetura inicial do SAD SustenAgro, a qual corresponde a um sistema de informação tradicional que requer da intervenção dos desenvolvedores de software para definir ou atualizar o conhecimento do domínio, exatamente o problema que abordamos nesta pesquisa, pelo qual se tomo como projeto piloto.

Um dos problemas identificados foi que os especialistas não tinham uma definição clara do SAD SustenAgro, pelo que foi necessário realizar um levantamento de requerimentos descrito no capítulo 5 para definir os requisitos funcionais e não funcionais, além disso foi necessário reestruturar o desenvolvimento do SAD SustenAgro para que faça parte do processo pesquisa.

2.3 Trabalhos relacionados

Com a finalidade de relacionar pesquisas de referência que forneçam ideias e exemplos para abordar o problema da seguinte pesquisa, realizou-se uma consulta sobre, definição de SADs por meio de ontologias do domínio dos especialistas, e SADs semelhantes ao SustenAgro, em diversas fontes de informação acadêmica.

Sobre definição de SADs, encontrou-se que na literatura existem pesquisas relacionadas com o vocabulário *AGROVOC Agricultural Vocabulary*¹ que é um *thesaurus* que fornece termos padronizados sobre alimentação, nutrição, agricultura, pesca, floresta e meio ambiente criados de maneira colaborativa e coordenados pela FAO, estes termos podem ser reutilizados nas ontologias (LI-ANG 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), esta reutilização foi feita através da vinculação de AGROVOC ao sistema *AOS/CS Agricultural Ontology Service Concept Server*, a FAO desenvolveu um modelo base para esse novo sistema utilizando o OWL.

Kraines e Guo (2011) desenvolveu uma ferramenta com a visão de criar um *Knowledge Sharing System for Sustainability Science* por meio do processo *Semantic Data Modeling*, uma ontologia fundamentada na lógica descritiva foi desenvolvida por meio do ISO 15926 Data Model para descrever três tipos de conceitualizações de ciência sustentável: *situational knowledge, analytic methods* e *scenario frameworks*. Os conhecimentos dos especialistas podem ser descritos por meio de *semantic statements* utilizando dita ontologia o *semantic matching based on logic* e *rule-based inferences* foram usados para quantificar o *conceptual overlap of semantic statements*.

Cada uma destas pesquisas fornece um exemplo do uso de ontologias na criação de soluções baseadas em conhecimento, isto é confirmado por Roussey et al. (2010) por meio da descrição de como as ontologias têm sido usadas para múltiplas tarefas, uma das quais é conseguir interoperabilidade entre sistemas de informação heterogêneos e como as seguintes gerações de sistemas de informação utilizariam uma base do conhecimento do domínio, dadas as afirmações destas pesquisas pode-se deduzir que uma ontologia proporciona o suporte conceitual para cumprir os requisitos do sistema SustenAgro.

Sobre SADs semelhantes ao SustenAgro, encontrou-se que Wilson, Tyedmers e Pelot (2007), analisaram e melhoraram a abordagem para o desenho e uso de modelos *Sustainable Development Indicator*, permitindo avaliar se as métricas globais SDI mostrando uma abordagem clara para definir métodos de avaliação o desenvolvimento sustentável.

Seis métricas globais SDI são comparadas e os resultados ilustram que as diferentes métricas variam à interpretação sobre a sustentabilidade das nações, o grau de variabilidade entre as métricas é analisado por meio de análises de correlação, ao final conclui-se que não existe consenso sobre a melhor abordagem para definir métricas.

¹ <http://aims.fao.org/agrovoc>

Uma estratégia para abordar a complexidade em SADs são 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 os indicadores com objetivos políticos de cada dimensão da sustentabilidade e assim facilitar a comparação dos impactos das novas políticas em cada dimensão.

Na pesquisa de [Ewert et al. \(2009\)](#) apresenta varias estrategias para abordar a complexidade nos sistemas agrícolas, começa relacionando a agricultura com os sistemas socioeconômicos e naturais, e enfrenta o problema de gerir suas múltiplas funções de uma maneira sustentável, o método *Integrated Assessment and Modeling (IAM)* pode fornecer uma visão sobre os possíveis impactos das mudanças políticas, existem múltiplos modelos *Integrated Assessment (IA)* mas a maioria são monolíticos resolvendo problemas específicos, os enfoques flexíveis são escassos, o *framework* proposto (SEAMLESS-IF) integra relações e processos através de "*disciplinas e escalas*" e combina análises quantitativas com apreciações qualitativas e experiências, permitindo um acoplamento entre modelos e ferramentas, este *framework* permite um avanço significativo em flexibilidade de IAM o que permite melhorar a modelagem integrado para avaliação do impacto em agricultura. A pesquisa apresenta exemplos da natureza complexa do sistema agrícola.

A pesquisa feita por [Boseley, Casu et al. \(2009\)](#), apresenta um exemplo de como unificar termos de plantas e organizá-los em uma maneira sistemática é fundamental para mais eficiência nas pesquisas e descobertas, para este fim, a *Plant Ontology* foi criada como uma iniciativa do *Plant Ontology Consortium*, esta ontologia é um vocabulário controlado de termos usados para dados de atributos (por exemplo, genótipo e fenótipo) para uma estrutura específica da planta ou um estagio de desenvolvimento.

Existem pesquisas que abordam a sustentabilidade a través de ferramentas tecnológicas, as quais podem servir de referencia ao sistema SustenAgro, uma delas foi desenvolvida por [Brilhante et al. \(2006\)](#) e consiste em um *framework* (MOeMA-IS) para análise sustentável do estado do Amazonas, que usa uma ontologia para descrição de indicadores de sustentabilidade (ISD-Economics Ontology), onde são usados os indicadores humano (Social), suporte (Econômico) e natural (Ambiental), os quais 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, esta ontologia foi feita em dois níveis de hierarquia, o *framework* trabalha de forma onde a base dele é a ontologia e ele emprega os indicadores de bases de dados (não foi descrito se são *triple-stores*) e as medidas e valores padrões de outra base e assim o *framework* calcula as medias dos indicadores e dá um resultado relevante ao tipo de necessidade. Para o desenvolvimento da ontologia foi utilizada a ferramenta *Protégé* utilizando o plug-in de OWL e alguns indicadores foram feitos utilizando a classe do SUMO do OWL.

2.4 Considerações finais

O desenvolvimento do SAD SustenAgro, não satisfaz os requisitos de desenvolvimento de um trabalho de mestrado, devido a que não envolve a utilização de métodos e técnicas de investigação científica, pelo qual será incluído dentro de um processo maior de pesquisa, onde seja possível incluir o desenvolvimento dele com a finalidade de desenvolver uma hipótese de pesquisa, a solução

do problema do presente trabalho “A inexistência de uma representação de conhecimento para definir SADs, que tenha um formato computável, entendível e acessível pelos especialistas do domínio e desenvolvedores de software” requiriu um direcionamento científico no desenvolvimento.

Contexto: Ontologias e DSL

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.

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 indexação de documentos por meio de “motores de busca” que seja coerente com uma estrutura linguística. [Souza e 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](#)).

Neste capítulo, vamos apresentar e discutir os conceitos usados da web semântica, exatamente: fundamentos da Web Semântica, Ontologias, o Resource Description Framework (RDF) , a Web Ontology Language (OWL) e finalmente as DSLs que são linguagens de propósito específico que permitem definir um meio de comunicação entre os especialistas e o sistema desenvolvido.

3.1 Web Semântica.

A interpretação do significado é uma habilidade inata dos seres humanos, através da associação dos conceitos que estão no cérebro por meio de estruturas neurais, nas máquinas não existe esta habilidade, devido a que um dado ou informação é um conjunto de caracteres sem associação a conceitos, a Web Semântica procura determinar métodos para que as máquinas aproximem-se nesta capacidade, atualmente é possível inferir e deduzir informações, porém não deve confundir-se com a compreensão humana.

A Web Semântica tem como finalidade estruturar os dados e informações disponíveis na Web para que tenham significado e que seja computável, gerando assim um ambiente onde agen-

tes software e usuários possam trabalhar de maneira cooperativa, está formada por um conjunto de padrões propostos pelo World Wide Web Consortium (W3C) , na figura 3 podem ser observados os padrões que constituem a Web Semântica e sua relação com os padrões XML .

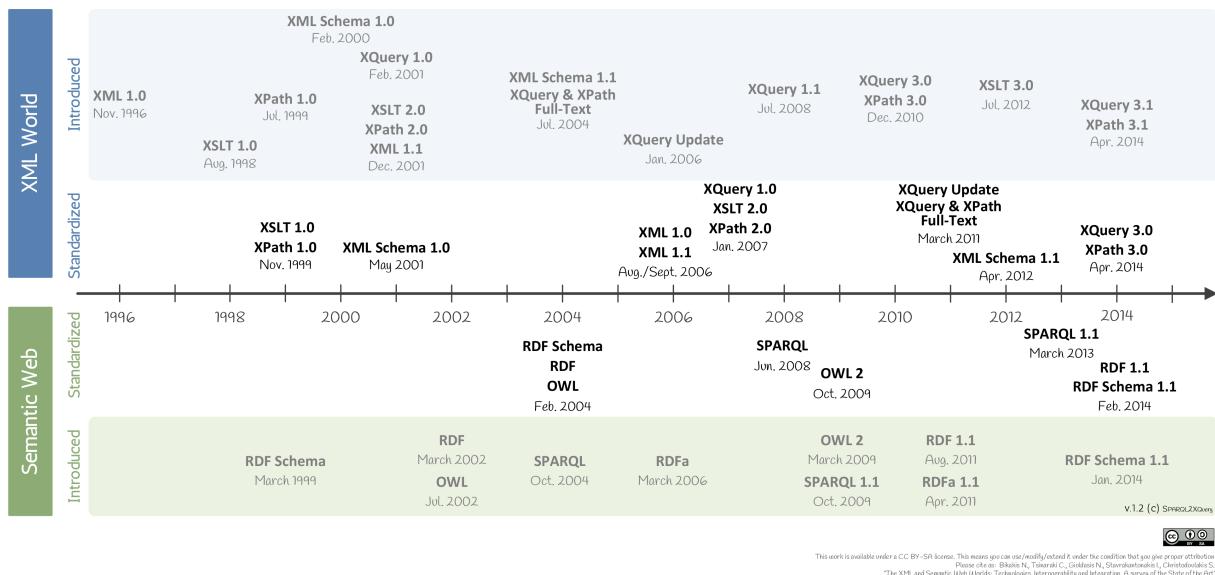


Figura 3 – História da Web Semântica

[Berners-Lee, Hendler e Lassila \(2001\)](#) propuseram a Web Semântica no 2001, como uma extensão da Web atual na que é possível vincular conceitos de maneira estruturada e padronizada com a finalidade de gerar uma web universal dos conhecimentos da humanidade; permitindo assim fornecer conhecimento estruturado para que seja computável pelas maquinas, e gerar um meio comum de representação entre os humanos e maquinas.

A partir desta visão conceitual sobre a Web, [Berners-Lee, Hendler e Lassila \(2001\)](#) propôs uma arquitetura que organiza as representações do conhecimento por meio de camadas, dita arquitetura é conhecida como Semantic Web Cake que é ilustrada na Figura 4

A base da arquitetura é estabelecida pelos padrões Unicode e 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 unificadamente os recursos disponíveis na Web por meio de uma String.

XML representa os dados de maneira sintática, através a definição de markups os quais codificam os documentos dando formato preestabelecido e permitindo que as informações sejam legíveis tanto por humanos como por computadores, suportando as camadas superiores na arquitetura da Web Semântica.

RDF A camada de descrição que permite especificar o domínio de conhecimento, também é usada como um método geral para descrição conceitual o modelagem de informação por meio de recursos, usa notações sintáticas e formatos de serialização.

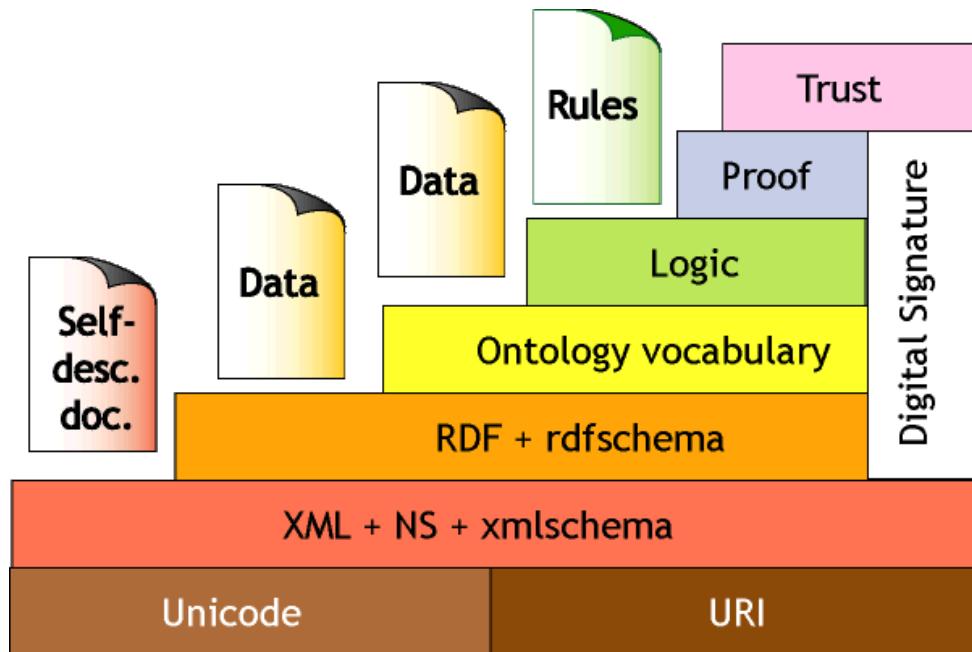


Figura 4 – Arquitetura em camadas da Web Semântica

Ontology estende a camada de descrição, fornecendo mais expressividade na definição de conceitos, relações semânticas dos conceitos.

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 confiabilidade da informação.

Uma das contribuições da Web Semântica foi a formalização das ontologias, as quais são definidas a continuação, no desenvolvimento desta pesquisa incluiu-se desde as camadas inferiores até o OWL, permitindo definir ontologias que representem os domínios de conhecimento.

3.2 Ontologias

Smith et al. (2007) descreve 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” define-se como uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada de um domínio de conhecimento.

Allemang e Hendler (2011) define as ontologias no contexto da Web Semântica como um esquema de representação que permite conceitualizar e estruturar conhecimento, permitindo a in-

interpretação dele através das computadoras, cujo principal objetivo é compartilhar conhecimento entre humanos e computadoras.

Uma ontologia é um sistema de organização e representação do conhecimento, em 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. As **classes**, o foco da maioria das ontologias, 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. \(2001\)](#). As **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. Os **axiomas** são utilizados para modelar regras assumidas como verdadeiras no domínio em questão, de modo que seja possível associar o relacionamento entre os indivíduos, além de fornecer características descritivas e lógicas para os conceitos. Por fim, os **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](#)), os indivíduos representam objetos do domínio de interesse [Horridge e Bechhofer \(2011\)](#).

Segundo [Patel-schneider \(2005\)](#) a representação de ontologia é realizada 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.

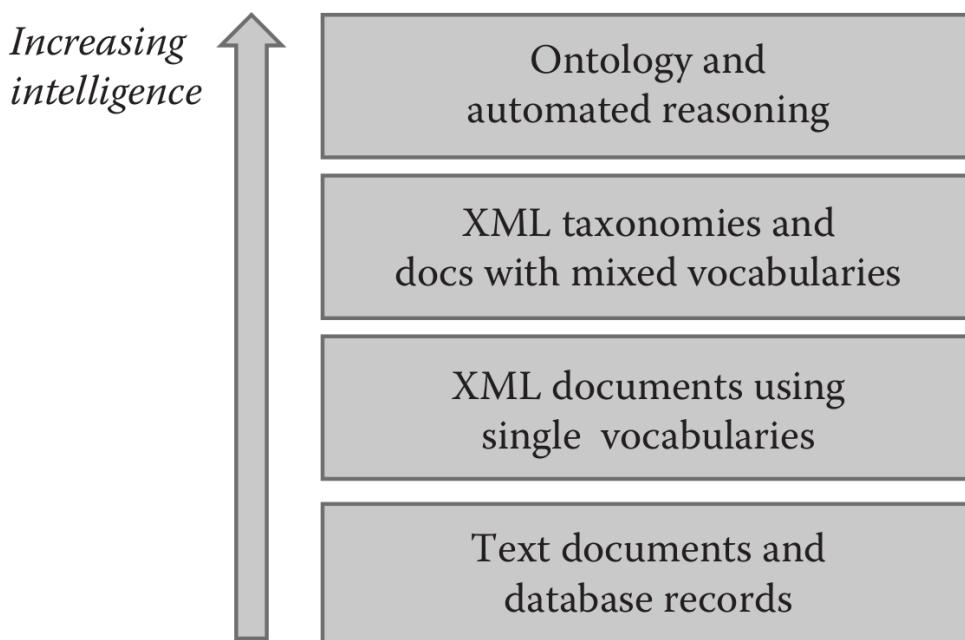


Figura 5 – Smart data continuum: níveis de representação de dados na forma de conhecimento processável por máquinas.

O nível mais baixo de representação começa com os dados sem nenhum significado se-

mântico, 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](#)), cada uma destas características compõem as ontologias.

3.3 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, que fornece um Framework comum que permite aos dados serem compartilhados e reusados através das fronteiras das aplicações, empresas e comunidades¹. Ele 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.

O RDF é usado em várias áreas de aplicação, como *resource discovery* para melhorar as capacidades dos motores de busca, *cataloging* para descrever o conteúdo e as relações de conteúdo disponibilizados em um sistema web particular e descrição de *intellectual property rights* de páginas web.

O modelo básico de dados consiste em um padrão de três tipos de objetos:

- Sujeito: representa os recursos e são identificados por meio de URIs, sem importar o tamanho deles, por exemplo, uma página web ou um elemento podem ser recursos.
- Predicado: são aspectos, características, atributos ou relações específicas que descrevem o sujeito, cada predicado tem um significado específico e relaciona um sujeito com um objeto.
- Objeto: um recurso específico ou valor da propriedade que representa uma característica do objeto²

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

3.4 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

¹ <http://www.w3.org/2001/sw/>

² <http://www.w3.org/TR/PR-rdf-syntax/>

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 OWL. De acordo com as especificações do W3C³, 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:

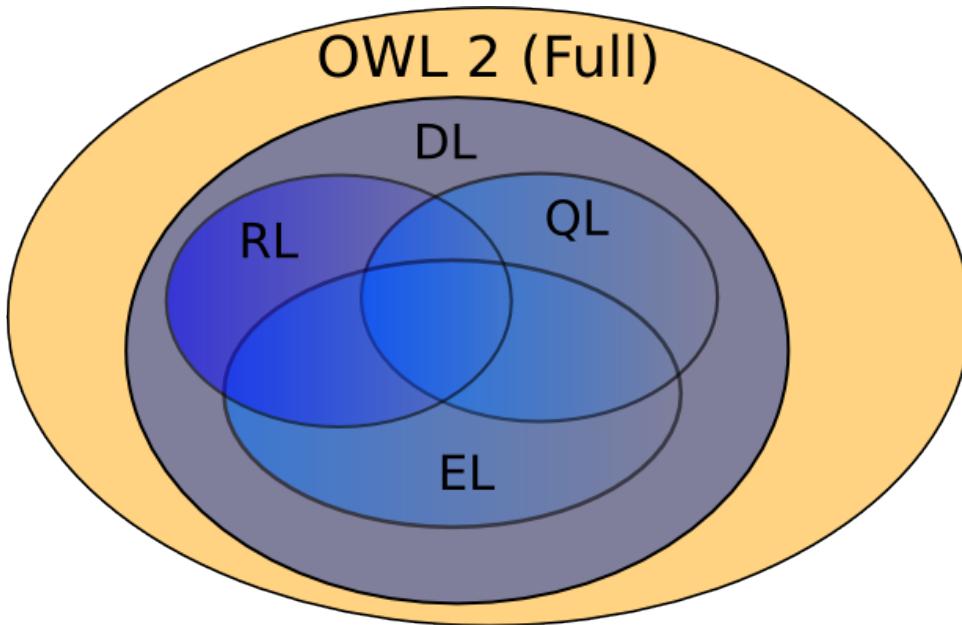


Figura 6 – OWL2 Profiles.

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 garantidos para 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

³ <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

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.

A ferramenta para definir ontologias da web semântica recomendada pela comunidade e usada na presente pesquisa foi Protégé⁴, que permite um amplo suporte no processo de definição de ontologias.

3.5 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 com expressões propriárias dos especialistas de aquele 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, o autor Fowler (2010) diz 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 comece a entender o que o programador (usuário) 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 existiram desde o começo das linguagens de programação, mas o termo tornou-se padrão devido à ascensão da modelagem de domínio específico, elas são classificadas em:

- Domain-Specific Markup Languages: são linguagens de um domínio particular com a particularidade de anotar os dados para que eles sejam sintaticamente distinguíveis, um exemplo deles é o Hypertext Markup Language ((HTML)) que permite anotar dados no domínio das páginas web.
- Domain-specific modeling languages: são linguagens que permitem expressar informação, conhecimento e sistemas em uma estrutura consistente com um conjunto de regras que permitem interpretar o significado dos componentes modelados, um deste tipo de linguagens é Unified Modeling Language (UML) que permite especificar sistemas software.
- Domain-specific programming languages: são linguagens permitem a programação em alto nível aplicado a um domínio específico de conhecimento, um exemplo dele é a linguagem R que permite a programação de conceitos estatísticos e geração de gráficos

⁴ Ferramenta e framework Protégé <<http://protege.stanford.edu/>>

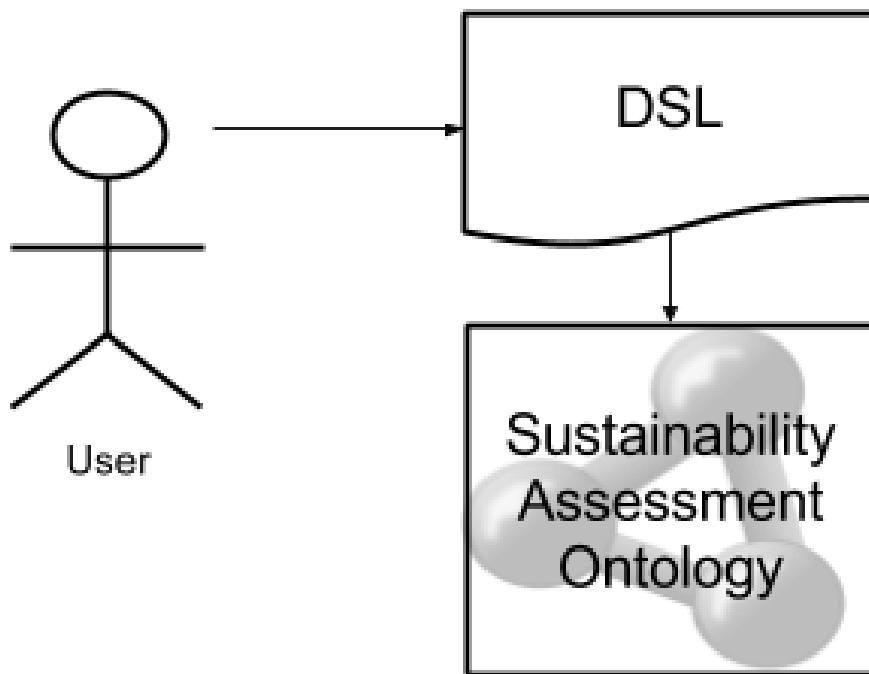


Figura 7 – Camada da DSL

No caso do SAD SustenAgro, foi analisado que as ontologias permitem uma definição detalhada do conhecimento do domínio, mas o formato das ontologias requer que os especialistas em sustentabilidade aprendam os padrões da Web Semântica descrita neste capítulo, o qual não é trivial, devido a que precisa um conhecimento profundo de modelagem em formatos semânticos.

Pelo qual a definição de uma DSL particular para os especialistas do domínio, permitiria fornecer uma solução compatível com os termos específicos deles, com o qual seria possível a especialistas especificar o 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.

A DSL fará uso e gerenciara a ontologia para organizar o conhecimento do domínio em um formato compatível com as tecnologias web semântica e assim definir o SAD SustenAgro, a DSL será uma interface entre o especialista e a ontologia permitindo fornecer que os especialistas definam ontologias da web semântica.

3.6 Considerações finais

Os conceitos apresentados anteriormente foram necessários para o desenvolvimento da presente pesquisa, demonstrando que a web semântica fornece o suporte tecnológico e teórico suficiente para abordar o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, particularmente as ontologias suportaram vários aspectos cruciais no desenvolvimento deste projeto, pelo qual elas foram o foco central da presente pesquisa.

As DSL auxiliam a definição da ontologia, fornecendo uma linguagem específica para o especialista, conseguindo de esta maneira que os especialistas definam o conhecimento deles no

sistema SAD.

Decisioner

Neste capítulo é apresentado o sistema Decisioner, principal contribuição do projeto desenvolvido, ele gerá Sistemas de Apoio à Decisão e está composto por ontologias para representar o conhecimento e por uma DSL que permite gerenciar os conceitos e estabelecer as configurações gerais por parte de especialistas do domínio para gerar o SAD.

Os SADs segundo a descrição feita no capítulo 3 estão compostos por banco de dados, base de modelos, base de conhecimento e a GUI como componentes principais, os quais foram organizados em componentes baseados na Web Semântica e nas DSL com a finalidade de desenhar um sistema gerador de SAD.

4.1 Arquitetura do Decisioner

A arquitetura de um software define a organização em termos de seus componentes, suas interconexões, suas interações e também suas principais propriedades Jong (1997). Ela fornece as informações de como os elementos envolvidos nela se relacionam. Arquiteturas trabalham a parte externa das ligações entre seus elementos, implementações internas desses elementos não são considerados arquiteturais Sei (2006).

Para encontrar e configurar componentes de software de uma arquitetura, uma opção é descrever esses componentes, usando uma ontologia, e usar os termos dessa ontologia para encontrar os componentes corretos para uma aplicação Linhalis, Fortes e Moreira (2010). Essas ontologias podem ser criadas utilizando linguagens padrões da Web Semântica, como a Web Ontology Language (OWL), para melhor portabilidade Pahl (2007). Ontologias e padrões da Web Semântica serão abordados com mais profundidade no próximo capítulo.

Devido ao fato de que os elementos básicos de todo o SAD (Figura 1) serem muito parecidos, é possível criar uma arquitetura que possa ser re-usada em diferentes SADs (ou classes de SADs). Esta arquitetura pode ser baseada em componentes de software re-usáveis. Programadores podem usar essa arquitetura e re-usar os componentes de software, já desenvolvidos para ela, para implementar SADs mais rapidamente.

Como especialistas de domínio não têm um conhecimento muito detalhado sobre linguagens de especificação de sistemas, é necessário o desenvolvimento de uma Domain Specific Lan-

guage (DSL) adequada ao nível de conhecimento de computação dos especialistas. Essa linguagem também deve conter termos familiares ao domínio desses especialistas.

Após uma pesquisa bibliográfica não foi possível encontrar sistemas que propusessem a geração automática de interface para Sistemas de Apoio a Decisão (SADs) com ou sem o uso de ontologias. Os artigos encontrados mais próximos ao tema deste trabalho tratam do uso de ontologias ou de frameworks em SADs para a área de sustentabilidade, área que vai ser usada neste trabalho para teste dos sistemas desenvolvidos.

O modelo geral desta solução é apresentado na Figura 8, na qual as ontologias representam o banco de dados, base de modelos e base de conhecimento, permitindo a integração e padronização desses componentes, ditas ontologias são gerenciadas pela DSL que permite definir o comportamento do SAD e finalmente é integrado o sistema de GUIs que permite visualizar o SAD por meio de uma interface Web, suportando assim o componente visual dos SAD.

O processo de definição dos SAD são controlados pela DSL, disponibilizando aos especialistas do domínio uma linguagem especializada e de fácil uso para definir e configurar os SAD segundo o critério deles, o conjunto destes três componentes foi intitulado Decisioner.

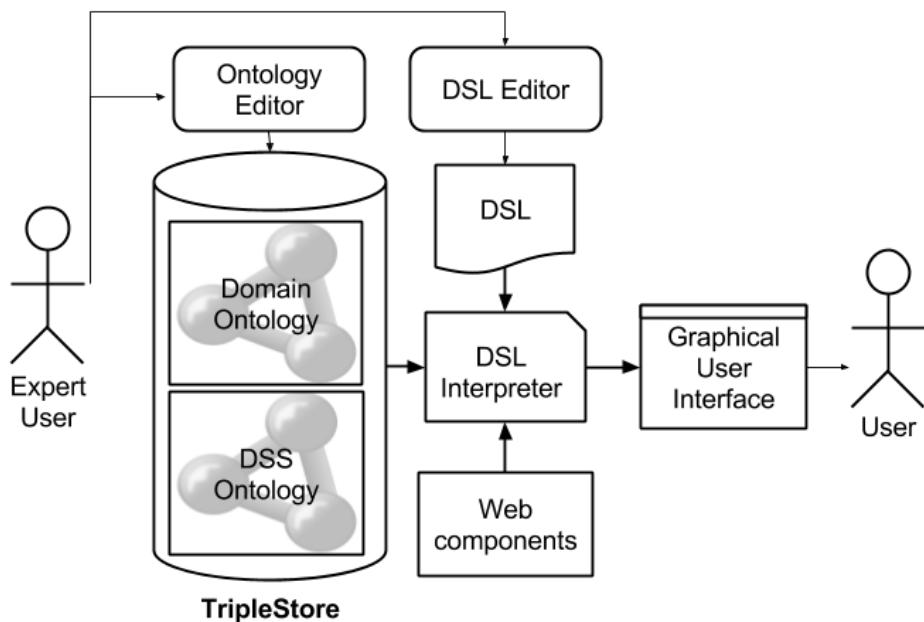


Figura 8 – Arquitetura do Decisioner

1. Ontologia de interfaces gráficas: ontologia que representa as interfaces gráficas de usuários e os tipos de dados, fazendo um mapeamento entre os dois.
2. TripleStore: sistema de armazenamento e recuperação da informação que padroniza as informações em formato de triplas, permitindo a compatibilidade e o reúso das informações entre fontes de dados externas.
3. Sistema gerador de interfaces gráficas: Sistema que usa a ontologia de interfaces gráficas e as definições feitas na DSL para gerar as interfaces gráficas Web, que compõem os SADs gerados pelo Decisioner.

4.2 Trabalhos relacionados

Sobre as ontologias na interface gráfica encontramos: no artigo de Ruiz e Hilera (2006) é analisado o uso de ontologias na engenharia de software, identificando 50 tipos de uso entre os quais foram identificados dois usos no suporte de interfaces gráficas.

Paulheim e Probst (2012) propõem a seguinte definição, uma ontology-enhanced user interface é uma interface cujas capacidades de visualização, possibilidades de interação, ou processo de desenvolvimento estão habilitados ou (pelo menos) melhorado pelo emprego de uma ou mais ontologias, na pesquisa foram identificados três propósitos para os quais são usadas as ontologias no melhoramento das interfaces gráficas, e são os seguintes:

1. Melhorar as capacidades de visualização;
2. Melhorar as possibilidades de interação;
3. Melhorar o processo de desenvolvimento;

são apresentados os usos mais comuns de ontologias que suportem interfaces gráficas (ontology-enhanced user interface), eles

4.3 Metodologia

Com a finalidade de desenvolver o modelo de geração de SAD anteriormente dito, foi escolhido um caso de uso que corresponde a um SAD para avaliação da sustentabilidade intitulado SustenAgro, o qual foi requerido pelos especialistas em sustentabilidade da Embrapa Meio Ambiente.

O desenvolvimento dos componentes do Decisioner foram realizados da seguinte maneira:

1. Seleção da Triplestore: foi realizado um processo de avaliação das triplestores existentes com a finalidade de definir uma que adapta-se nos requisitos do sistema Decisioner.
2. Seleção da linguagem de programação e framework web: foi realizado uma verificação das tecnologias de desenvolvimento de sistema web compatíveis com as tecnologias da web semântica e com as DSLs.
3. Design da DSL:
4. Desenvolvimento do interprete DSL:
5. Integração com tecnologias de Web Components:
6. Desenvolvimento de módulo de geração de GUIs.
7. Desenvolvimento do DSL editor:
8. Desenvolvimento do Ontology Editor:

Os componentes da arquitetura do SustenAgro não são exclusivos do SustenAgro, podendo ser reusados em outros SADs, os quais foram generalizados para suportar a geração de outros tipos de sistema.

4.3.1 Ontologia Decisioner

Sobre as ontologias sobre interfaces gráficas, no artigo de Ruiz e Hilera (2006) é analisado o uso de ontologias na engenharia de software, identificando 50 tipos de uso entre os quais foram identificados dois usos no suporte de interfaces gráficas.

Paulheim e Probst (2012) propõem a seguinte definição, uma *ontology-enhanced user interface* é uma interface cujas capacidades de visualização, possibilidades de interação, ou processo de desenvolvimento estão habilitados ou, pelo menos, melhorados pelo emprego de uma ou mais ontologias. Na pesquisa foram identificados três propósitos para os quais são usadas as ontologias no melhoramento das interfaces gráficas:

1. Melhorar as capacidades de visualização;
2. Melhorar as possibilidades de interação;
3. Melhorar o processo de desenvolvimento;

Foram apresentados também os usos mais comuns de ontologias que suportam interfaces gráficas (*ontology-enhanced user interface*).

Além disso, na literatura, existem pesquisas relacionadas com o vocabulário AGROVOC *Agricultural Vocabulary*¹ que é um *thesaurus* que fornece termos padronizados sobre alimentação, nutrição, agricultura, pesca, floresta e meio ambiente criados de maneira colaborativa e coordenados pela Food and Agriculture Organization (FAO). Esses termos podem ser reutilizados nas ontologias (Liang et al., 2006), permitindo uma padronização dos identificadores dos conceitos, reutilizando informações e integrando os conceitos com outros dados. Essa reutilização foi feita através da vinculação da AGROVOC ao sistema *AOS/CS Agricultural Ontology Service Concept Server*, a FAO desenvolveu um modelo base para esse novo sistema utilizando o *OWL Web Ontology Language*.

Cada uma destas pesquisas fornece um exemplo do uso das tecnologias da web semântica na criação de soluções baseadas em conhecimento. Isso é confirmado por Roussey et al. (2010) por meio da descrição de (i) como as ontologias têm sido usadas para múltiplas tarefas, uma das quais é conseguir interoperabilidade entre sistemas de informação heterogêneos; e de (ii) como as seguintes gerações de sistemas de informação utilizariam uma base do conhecimento do domínio. Dadas as afirmações dessas pesquisas, pode-se deduzir que uma ontologia pode proporcionar o suporte conceitual para cumprir os requisitos de sistema SAD, como o SustenAgro.

A ontologia de Sistema Apoio à Decisão contém os elementos que foram abstraídos a partir do análise dos sistemas SAD usados pela Embrapa Meio Ambiente em seus processos de avaliação.

Os sistemas software de avaliação que foram analisados foram:

1. Sistema SustenAgro: avaliação da sustentabilidade agrícola em cana-de-açúcar.
2. Sistema Innova-Tec: avaliação do impacto da inovação tecnológica.
3. Sistema Nano-Tec: avaliação do impacto das nanotecnologias.

¹ <http://aims.fao.org/agrovoc>

A partir desses sistemas foram identificados elementos comuns, que foram abstraídos na ontologia SAD com o propósito de generalizar as classes da ontologia sustenagro, para fornecer a geração de interfaces gráficas.

As classes identificadas e modeladas são:

- Evaluation Object: classe que representa os objetos que serão analisados em cada processo de avaliação, os quais vão ficar como indivíduos desta classe ou de alguma subclasse dela, no caso do sistema SustenAgro a classe *Production Unit* é subclasse do Evaluation Object.
- Feature: classe que representa as características de um Evaluation Object que serão quantificadas, analisadas e usadas no processo de geração de resultados do processo de avaliação, pelo geral as Features tem uma propriedade numérica que a quantifica.
- Analysis: classe que vincula o resultado de uma avaliação, o nome e data da avaliação, assim como o Evaluation Object, para representar uma avaliação
- Value: classe que representa os valores que são atribuídos a cada instância de Feature.
- User: classe que representa os usuários do sistema.
- Role: classe que representa os tipos de usuário do sistema, relacionando as permissões de cada tipo, por padrão tem estão instanciados os perfis User e Admin

Na figura 9 é apresentada a modelagem básica da estrutura de um SAD, com as classes que foram obtidas a partir da abstração da ontologia SustenAgro.

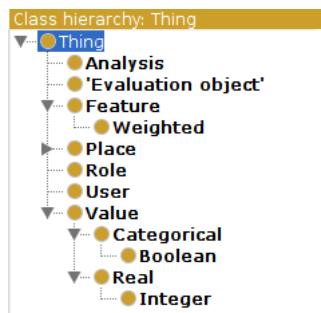


Figura 9 – Modelagem abstracta do SAD

A classe *Value* representa os valores que são relacionados com cada característica da unidade produtiva, o qual está subdividido nas classes *Categorical* ou *Real*, no caso de SustenAgro representa os possíveis valores que um *Indicator* ou *Variable* pode ter, os elementos discretos e definidos como os categóricos são modelados como indivíduos da classe, permitindo assim, restringir as opções de escolha.

Na figura 10 é apresentado a classe *Value* e as subclasses modeladas, tanto *Categorical* para conjunto finito de valores e *Real* para valores numéricos, como exemplo está a classe *Yes/No* que representa os valores de sim e não, os quais são modelados como indivíduos de dita classe.

Cada indivíduo da classe *Value* tem a propriedade *as number* que relaciona um valor numérico para definir um critério de comparação e fornecer um formato para este tipo de dados.

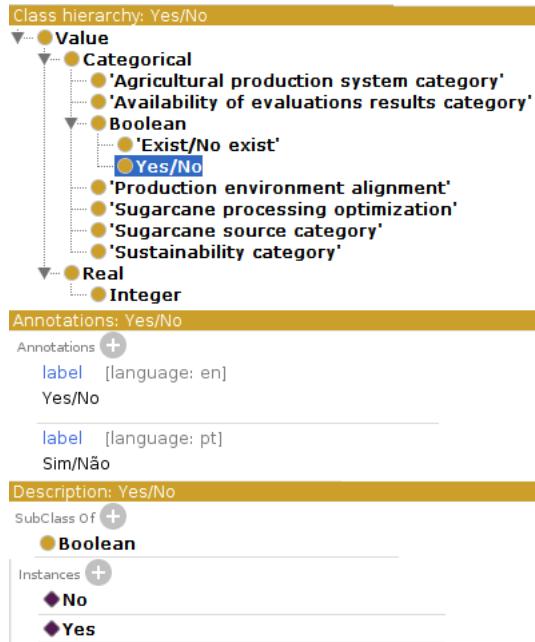


Figura 10 – Modelagem de Value

Estas classes são complementadas com propriedades como rdfs:range ou por padrões dos dados que relacionam as widgets mais apropriadas na representação de informações, e assim fornecer a geração de interfaces gráficas de usuário.

A partir do anterior formato a classe

Para definir a ontologia de domínio do 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 suportem esse domínio, por isso propõe-se desenvolver uma ontologia que utilize os conceitos de avaliação de sustentabilidade e de sistemas agrícolas. Ela deve fazer uso da pesquisa realizada por Cardoso (2013) e de algumas tecnologias fornecidas pela FAO. Essa ontologia terá a finalidade de fornecer uma base conceitual e tecnológica para suportar o processo de avaliação de sustentabilidade no sistema produtivo da cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

O desenvolvimento dessa ontologia ocorrerá de forma ágil e modular, por meio de técnicas de prototipação rápida, que serão de âmbito e complexidade crescente, abrangendo grupos de conceitos relacionados entre si.

O desenvolvimento da ontologia depende essencialmente da comunicação entre os especialistas e os modeladores. Foram definidos meios de comunicação e de representação do conhecimento: reuniões presenciais e virtuais, e o modelos conceituais que permitem uma visualização direta do domínio.

Inicialmente, o modelo conceitual vai ser representado por meio de um mapa conceitual que permitirá a comunicação em um formato reconhecido por cada um dos profissionais envolvidos no projeto. Esse modelo será representado em OWL (pelos modeladores) e serão definidas instâncias para cada uma das classes. Depois disso, o especialista do domínio construirá perguntas de interesse, com as quais os modeladores definirão consultas que o sistema deverá responder segundo os resultados esperados, conseguindo validar e ajustar até ter um protótipo confiável.

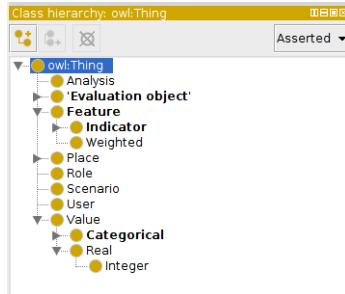


Figura 11 – Estrutura Geral da Ontologia de Domínio

O conhecimento do domínio envolvido no sistema Sustenagro está em contínua construção. Por isso, é necessário um enfoque que permita realizar mudanças na estrutura e no conteúdo usados no sistema durante seu desenvolvimento. As ontologias permitem representar o conhecimento de um domínio por meio de formatos, como a linguagem OWL, permitindo separar o conhecimento das outras partes do sistema.

A ontologia do domínio foi desenvolvida baseada nas definições feitas pelos especialistas, que foram generalizadas a través das seguintes classes representadas na Figura 11, cada uma delas permite representar os conceitos gerais dos sistemas de avaliação da sustentabilidade.

Também permite a integração de conceitos, inclusive quando pertencem a domínios sem relação aparente. 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 modelado foi dividido em duas ontologias, avaliação de sustentabilidade e do SAD.

As ontologias da web semântica são compatíveis com as tecnologias web, permitindo o uso e integração por outros sistemas dado que está em um formato padronizado.

A classe *Analysis* representa o conceito de avaliação de sustentabilidade onde cada indivíduo dela representa uma avaliação cadastrada no sistema.

A classe *EvaluationObject* representa os objetos que serão avaliados pelo SAD, os quais tem indicadores que permitem suportar o processo de avaliação.

A classe *Feature* representa cada uma das características dos objetos de avaliação, principalmente indicadores que são usados durante o processo de avaliação

A classe *Indicator* representa o conceito de indicador que representa cada conceito a avaliar

A classe *Weighted* representa o conceito de indicador vinculado com um peso que permite atribuir uma

Ontologia de controles de gráficos: a finalidade dessa ontologia é dar suporte a composição de controles gráficos relacionados com os indicadores. Esse é um requisito funcional do software, uma vez que os indicadores podem ter diversos tipos de unidades e para cada tipo existe um tipo de controle gráfico mais apropriado para sua representação. Por exemplo, para representar um indicador de sustentabilidade do tipo numérico é recomendável usar um controle visual tipo spinner.

O sistema gerador de interfaces gráficas permite suportar aspectos de usabilidade e flexibilidade ao sistema. Essa última característica constitui uma nova proposta de desenvolvimento de SADs que permite a adaptação automática (ou semi-automática) da interface às mudanças dos

conceitos do domínio.

Será desenvolvida uma ontologia para interfaces gráficas focada na definição e modificação de controles de usuário. Um exemplo do uso dessa ontologia é nos indicadores. Eles armazenam um valor inserido pelo usuário, que pode ser de diversos tipos como numérico contínuo, numérico discreto, percentagem, booleano, lista de termos ou alfanumérico. Dada essa diversidade, é importante representar os diversos tipos de controles gráficos em uma linguagem do domínio do especialista, para que possam ser usados para input da definição dos indicadores e que faça um mapeamento entre os indicadores e os tipos de indicador que vai ser armazenado no sistema.

Esta ontologia vai suportar a DSL fornecendo uma definição formal dos controles gráficos que serão mapeados para cada tipo de indicador, a DSL será apresentada a continuação.

As ontologias desenvolvidas foram modelados os conceitos envolvidos no processo de avaliação da sustentabilidade em agricultura, definindo, classificando e relacionando cada um dos conceitos para assim permitir o uso em outros sistemas e conseguir fazer inferência de novo conhecimento.

4.4 Decisioner DSL

No desenvolvimento da presente pesquisa foi necessário definir uma DSL que permitisse representar as principais características do SAD que precisávamos desenvolver, dito SAD foi desenhado para avaliar a sustentabilidade em agricultura, pelo qual foram integrados conceitos do domínio de conhecimento na definição dos componentes do SAD, fornecendo uma linguagem para especialistas onde é suportada a definição dos SAD, as características da DSL são:

A DSL foi baseada na linguagem Groovy [Koenig et al. \(2007\)](#), sendo uma extensão da linguagem Groovy, devido a que esta linguagem suporta o desenvolvimento de DSLs. Isso inclui suporte a DSL Descriptors, arquivos Groovy que descrevem extensões *domain-specific* para o motor de inferência e assistente de conteúdo do plugin Groovy-Eclipse.

Uma outra vantagem de Groovy é a disponibilidade do Grails Framework para a criação de aplicações Web [Judd, Nusairat e Shingler \(2008\)](#).

O uso da DSL por especialistas em sustentabilidade deve diminuir o esforço necessário para se desenvolver um SAD nesse domínio.

Espera-se que, usando a DSL, os próprios especialistas vão ser capazes de fazer parte do desenvolvimento e validação.

A DSL e o interpretador conformam uma ferramenta intitulada Decisioner, que por meio de suas declarações permite a geração de , dita ferramenta foi a principal contribuição desta pesquisa.

4.4.1 Evaluation Object

Os SAD focados na avaliação, é necessário definir um objeto de avaliação que permita representar as entidades a avaliar, este objeto pelo geral tem propriedades que vão representar cada um dos indivíduos a avaliar, pelo qual foi definido o comando *evaluationObject*, que define a estrutura do objeto de avaliação e vincula os controles visuais, o comando tem como argumentos a URI da classe dos elementos que vão ser avaliados e cada uma das propriedades relacionadas. No código

4.1 apresenta-se uma parte da DSL que define a classe do objeto de avaliação *ProductionUnit* e as propriedades por meio dos comandos *instance* e *type*.

Listagem 4.1 – Definição de 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 a qual pode estar complementada por parâmetros que customizam a representação visual da propriedade.

O comando *type* vincula as subclasses da classe principal, para ser atribuída nas intancias de Evaluation Object, no caso do Sistema SustenAgro, dito comando identifica que as instancias de *ProductonUnit* também podem ser um *Provider* ou uma *Plant*. Os parâmetros que podem complementar os anteriores comandos são:

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

4.4.2 Feature:

O comando *Feature* define as características que serão apresentadas durante a avaliação para serem instanciadas como parte da *Analysis*, ele tem como argumento uma URI que permite vincular as subclasses da classe referenciada, as instancias destas classes serão quantificadas mediante o processo da avaliação no qual é realizado o preenchimento da propriedade *has value* que vincula cada *Feature* com um *Value* para quantificá-lo. No sistema SustenAgro foram estabelecidas as *Features* por meio das URIs das classes: *EnvironmentalIndicator*, *EconomicIndicator*, *SocialIndicator*, *ProductionEfficiencyFeature* e *TechnologicalEfficiencyFeature*. Além disso é possível acrescentar a inserção de *features* novas na interface gráfica de usuário a través do parâmetro *extraFeatures*.

Listagem 4.2 – Definição de Features

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

4.4.3 Logica de avaliação:

O comando *Report* define o tratamento quantitativo que vai ser efetuado às *Features*, com a finalidade de obter valores gerais ou padrões como resultado do processo de avaliação, suportando a definição de operações logicas e aritméticas existentes tanto das linguagens Java e Groovy, fornecendo assim uma linguagem para edição do metodo de avaliação, permitindo atualizar o metodo dinamicamente e em tempo de execução, ditos valores gerais são apresentados diretamente ou por

meio de *widgets* que facilitem a representação e compreensão da avaliação do sistema. No código seguinte apresenta-se a implementação da formula do Sistema SustenAgro, criando variáveis resultado de operações aritméticas para gerar resultados gerais, no caso do SustenAgro o código gera a variável *sustainability* que representa o índice de sustentabilidade, mas pode ser definido qualquer método computável.

Listagem 4.3 – Definição da logica de avaliação.

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

O comando *report* também define as *widgets* que conformam a parte visual do *report*, o qual pode usar as variáveis de resultado da logica de avaliação como entrada das *widgets* para melhorar a representação e facilitar a compreensão dos resultados. No código seguinte apresenta-se um exemplo de uso desta funcionalidade no sistema SustenAgro, no qual são definidos comandos que geram as interfaces gráficas, como *sustainabilityMatrix* que usa as variáveis geradas anteriormente como argumentos.

Listagem 4.4 – Definição dos controles visuais do report

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

Por meio dessas configurações da DSL definiu-se as interfaces gráficas de usuário do sistema para suportar o processo de avaliação, gerando a representação visual dos Evaluation Objects, das Features, da logica da avaliação e da interface gráfica do report.

Esta DSL permitirá que a interface gráfica seja definida em uma linguagem de alto nível. Ela está baseada nas duas ontologias base e permite definir e administrar os seguintes elementos conceituais:

- Indicadores
- Componentes dos indicadores
- Limiares
- Métodos
- Avaliações
- Índices

Os elementos que compõem a DSL tem controles gráficos predefinidos e será possível parametrizar as características destes controles gráficos visuais. Por exemplo para as propriedades de tipo numérico contínuo tem uma *widget* que representa os valores reais que podem ser atribuídos em aquela propriedade, dita *widget* pode ser mudada a outra de acordo com as preferências dos usuários. No caso das mudanças no design são feitas através da edição do CSS3.

4.5 TripleStore

O sistema SustenAgro será baseado nas tecnologias da web semântica, entre as tecnologias existentes encontra-se a Triplestore que é um banco de dados para o armazenamento e recuperação de triplas [Rusher \(2003\)](#). Para o presente projeto foi selecionada a Triplestore Parliament² porque fornece as características: suporte nativo a SPARQL e SPARQL/Update e implementa o SPARQL Protocol Endpoint. Esse último, padroniza o armazenamento e recuperação da informação; e a compatibilidade com os sistemas web por meio do Endpoint.

4.6 Sistemas de apóio à decisão

Os sistemas de apóio à decisão (SAD) ajudam no entendimento de processos complexos, auxiliam na comparação dos fenômenos envolvidos e suportam a análise e escolha de alternativas no processo de decisão ([HEINZLE; GAUTHIER; FIALHO, 2010](#)).

A equipe de TI do SustenAgro determinou que o tipo de sistema mais conveniente para o desenvolvimento seria um Sistema de Apóio à Decisão (SAD). Com a finalidade de definir a arquitetura e a interface gráfica desse sistema realizaram-se duas perguntas de pesquisa que orientaram esse projeto:

- Como integrar o conhecimento dos especialistas em um sistema de apoio na tomada de decisões permitindo a continua mudança do modelo do domínio?
- Como gerar interfaces gráficas a partir de definições simples do domínio do conhecimento?

Tendo em conta os requisitos do software, como o suporte a contínua mudança do modelo de dados e a geração dinâmica de interfaces, se propõe a arquitetura a seguir.

4.7 Considerações finais

Não foram encontrados trabalhos na área de geração automática de interfaces para SADs. Nem mesmo em áreas específicas de aplicação. Também foi encontrado pouco material sobre ontologias para descrição de interfaces gráficas.

Este capítulo apresentou os conceitos principais de SADs, incluindo a definição geral e a arquitetura de software. Ele também apontou para a necessidade da geração automática (ou semi-automática) de interfaces gráficas de usuários SADs. Uma abordagem para conseguir a geração automática (ou semi-automática) de GUIs consiste na integração com DSLs, onde sejam definidas as

² <http://parliament.semwebcentral.org/>

características gerais do sistema e integrado com os conceitos do domínio de conhecimento a través das ontologias usadas nesses sistemas.

Através dos conceitos definidos nelas, será possível associar tipos aos dados e modos de apresentação dos mesmos (por exemplo, tipos de gráficos de apresentação), a partir dessas descrições, widgets podem ser geradas de maneira automática e assim suportar a geração de SADs de maneira semiautomática.

Sustenagro

O SAD SustenAgro é um sistema web que suporta a avaliação da sustentabilidade em cana-de-açúcar¹, especificamente está composto por um conjunto de definições em formato de Ontologias e DSL que permitem gerar dito sistema a través do Decisioner, o principal componente dele é a ontologia do domínio em avaliação da sustentabilidade.

O desenvolvimento de SustenAgro permitiu definir os componentes principais do sistema Decisioner, pelo qual os dois sistemas estão muito relacionados mas correspondem a sistemas independentes.

Um domínio de conhecimento caracterizado pela complexidade são os sistemas produtivos agrícolas que envolvem fenômenos de natureza diversa (Simon, 1991), integrando aspectos ambientais, sociais e econômicos, e tendo em conta as projeções da FAO (2013)

especificamente pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente trabalham na definição de métodos que permitam avaliar da sustentabilidade de maneira integral Singh et al. (2012)

foi evidenciada a necessidade de fornecer sistemas e ferramentas computacionais que organizem a informação, para apoiar aos especialistas a tomar decisões baseadas em conhecimento

Dada a complexidade dos sistemas de produção agrícola, surgiu a necessidade de determinar um método de , por esta razão desenvolveram um método de avaliação de sustentabilidade que aborda a avaliação em termos de indicadores, medindo aspectos críticos no sistema produtivo, para determinar se é ou não é sustentável, e assim gerar recomendações para tomar medidas corretivas.

A partir do método de avaliação, foi desenvolvida uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade intitulada software 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 qual está baseado em uma ontologia que permitem representar e estruturar o conhecimento de avaliação da sustentabilidade em agricultura, gerando uma representação mais exata da realidade do que outros modelos de dados, em formato de ontologias da web semântica, sobre o qual é possível fazer inferências e assim gerar informações para suportar a decisão.

Também foi desenvolvida a ontologia de representação das interfaces gráficas, permitindo um mapeamento entre conceitos do domínio dos especialistas e as interfaces gráficas, concedendo flexibilidade ao sistema para adaptar-se às mudanças dos conceitos do domínio de conhecimento.

¹ A definição conceitual do processo de avaliação está no apêndice A

As ontologias forneceram uma representação de conhecimento, que foi gerenciada desde uma, desenhada para gerar sistemas de apoio a decisão, dita linguagem e o interpretar dela foram intitulados Decisioner, os quais constituem uma ferramenta geradora de sistemas de avaliação.

O desenvolvimento do projeto foi apoiado pela Embrapa Meio Ambiente, instituição parceira que planejou e executou o projeto SustenAgro, cuja finalidade é fornecer os fundamentos teóricos para suportar avaliações que possibilitem o embasamento de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade no setor produtivo da cultura de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil.

e para usuários especialistas

dentre deles está o sistema produtivo de cana-de-açúcar que é extremamente importante para a economia do Brasil e do estado de São Paulo, devido a que é uma das principais culturas produzidas no país Sérgio Alves Torquato (2015), pelo qual foi escolhido como sistema produtivo piloto para abordar a presente pesquisa.

estes sistemas tem evoluído junto com a Web Shim et al. (2002), integrando novas técnicas no processamento dos dados, tecnologias na representação visual de resultados e no uso colaborativo por parte dos usuários.

permitindo simplificar a resolução de problemas que de outra maneira não seriam triviais.

5.1 Arquitetura do SustenAgro

O SAD SustenAgro permitiu modelar e desenvolver os componentes que fazem parte do Decisioner, devido a que foi o primeiro caso de uso, a continuação são apresentados os componentes da arquitetura por meio da figura 12:

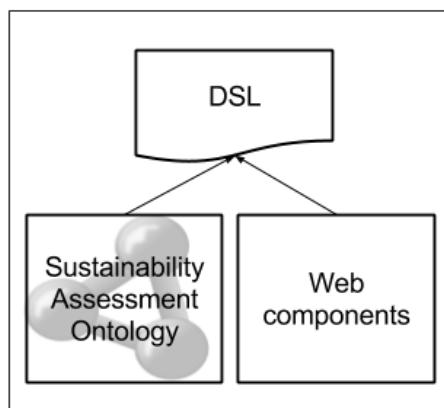


Figura 12 – Arquitetura de SustenAgro

1. Ontologia do domínio: ontologia que representa os conceitos do domínio, avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar, ela é a base para o sistema SustenAgro

porque permite estabelecer os conceitos fundamentais que são utilizados pelo sistema, entre eles: indicadores, componentes de indicadores, índices, dimensões da sustentabilidade, recomendações e o método de avaliação.

2. Web components: são um padrão para definição e gerenciamento de widgets (elementos da GUI) reusáveis na web, fornecendo um modelo que permite encapsulamento e interoperabilidade dos componentes.
3. DSL: linguagem específica do domínio para gerenciar os conceitos das ontologias permitindo vincular com os componentes necessários para gerar o SAD por meio do sistema Decisioner, fornecendo uma linguagem específica para definir SADs por parte dos especialistas do domínio.

5.2 Metodologia.

O conhecimento do domínio envolvido no sistema SustenAgro está em contínua evolução, por isso, foi necessário uma metodologia que suporte mudanças na estrutura e no conteúdo, durante cada uma das fases do desenvolvimento.

O desenvolvimento da ontologia foi iniciado com a criação de um mapa conceitual² com o acompanhamento de um grupo de especialistas em modelagem de conhecimento. Na reunião da equipe na Embrapa Informática Agropecuária (UNICAMP - Campinas), onde foram identificados os principais conceitos e permitiu aprender sobre a metodologia para definir ontologias.

Na Figura 13 é apresentada a metodologia para desenvolver as ontologias, na qual teve vários ciclos de desenvolvimento nos quais foram integradas novas características.

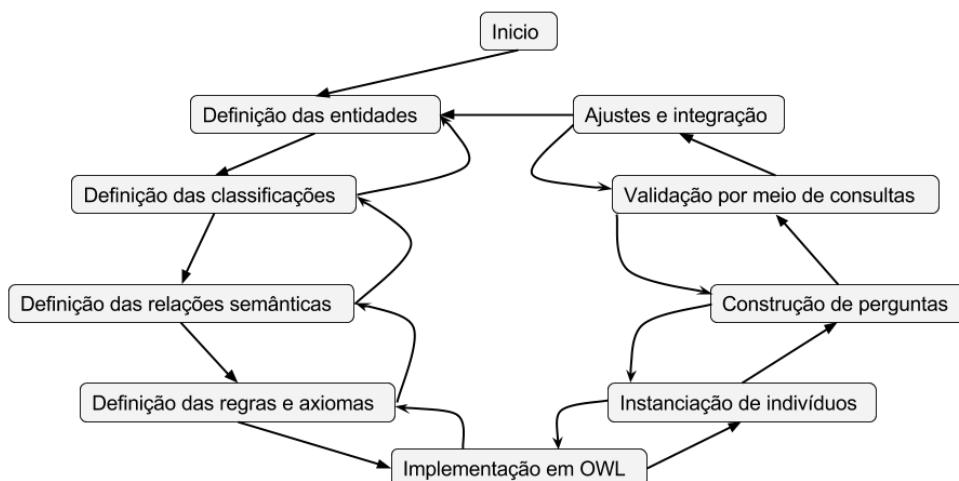


Figura 13 – Metodologia de definição das ontologias

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

² Mapa conceitual desenhado com a ferramenta Cmap Tool <<http://cmap.ihmc.us/>>

A metodologia que direcionou o desenvolvimento do SAD foi SCRUM [Schwaber e Beedle \(2002\)](#) e o design foi realizado por meio do enfoque User Centered Design, permitindo 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.

O desenvolvimento dos web components foi vinculado no desenvolvimento das web views, que permitiram integrar e avaliar cada um dos componentes para satisfazer os requisitos identificados.

A metodologia de desenvolvimento das web views e dos web components incluiu as seguintes etapas que correspondem ao levantamento de requisitos, cujo objetivo foi definir as características do software, cada uma das etapas foi realizada varias vezes devido a que foi necessário redesenhar os componentes, isso ocorre pois as metodologias ágeis são cíclicas e os protótipos mudam em cada ciclo para cumprir os novos requisitos.

1. Descrição de User Stories: técnica de desenvolvimento ágil que permite descrever características de software desde a perspectiva do usuário, fornecendo uma identificação dos usuários, das funcionalidades e explicando o porque é necessária dita funcionalidade.
2. Descrição de Scenarios: técnica de desenvolvimento ágil que permite descrever detalhadamente as características do sistema.
3. Descrição de Storyboard: descrevem cada uma das interações do usuário com o sistema em uma determinada tarefa, visualizando a interação como uma história de quadrinhos.
4. Descrição de *Mockups*: design do esboço de interface gráfica do sistema, que foi analisado pelos especialistas da Embrapa, para avaliar se corresponde 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 cumpre com os requisitos.

Cada uma das anteriores etapas de desenvolvimento foram testadas com os especialistas do domínio, para realizar o correto levantamento de requisitos, devido a que não existia uma definição específica do que os especialistas precisavam.

5.3 Ontologia do domínio avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar

A ontologia SustenAgro representa o conhecimento necessário para suportar avaliação de sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar, representando os conceitos por meio de entidades, classes, relações semânticas e axiomas, elementos que organizam e representam a realidade modelada.

A figura 14 representa um mapa conceitual com os principais conceitos modelados e como estão relacionados entre eles, dito mapa conceitual tem etiquetas em cada relação dos conceitos que permitem identificar a relação entre os dois conceitos.

As ontologias da web semântica satisfazem o requisito de separar o conhecimento do domínio da lógica da computação, permitindo abordar cada desenvolvimento de uma maneira independente e suportando conceitos importantes como a inferência, que são de grande importância no desenvolvimento como os .

Uma característica importante de 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, 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 dita ontologia seja computável, foi necessário definir o conhecimento no formato OWL modelado na ferramenta Protégé³, que permite a compatibilidade com sistemas triple-stores (bancos de dados com significado semântico) e fornece uma representação compreensível pelos humanos e computadores (ALLEMANG; HENDLER, 2011), suportando a realização de consultas complexas que permitam responder perguntas de interesse aos usuários do sistema software.

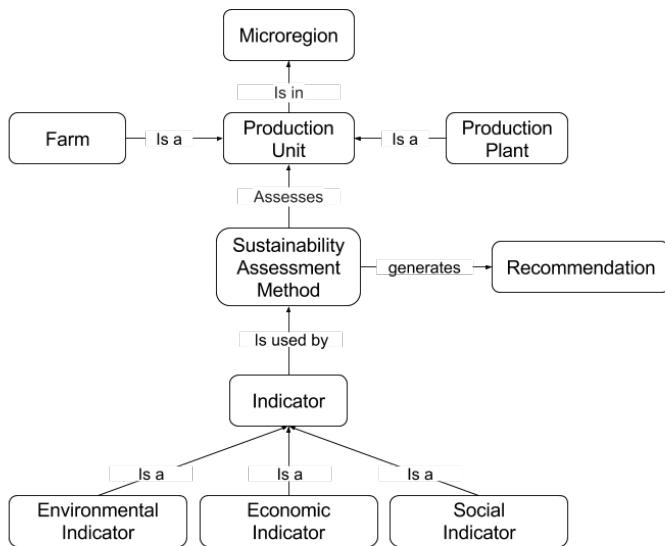


Figura 14 – Mapa conceitual da ontologia

Exemplos dos conceitos modelados são: *Production Unit*, *Indicator*, *Microregion*; os quais são vinculados por meio do método de avaliação de sustentabilidade, a continuação são apresentados as principais classes desta ontologia.

Segundo a descrição do método de avaliação do capítulo A, as três dimensões da sustentabilidade têm uma participação equitativa no método de avaliação (KRAINES; GUO, 2011).

A figura 15 representa a dimensão ambiental, modelo onde são definidos os seguintes conceitos:

³ Editor de ontologias <<http://protege.stanford.edu/>>

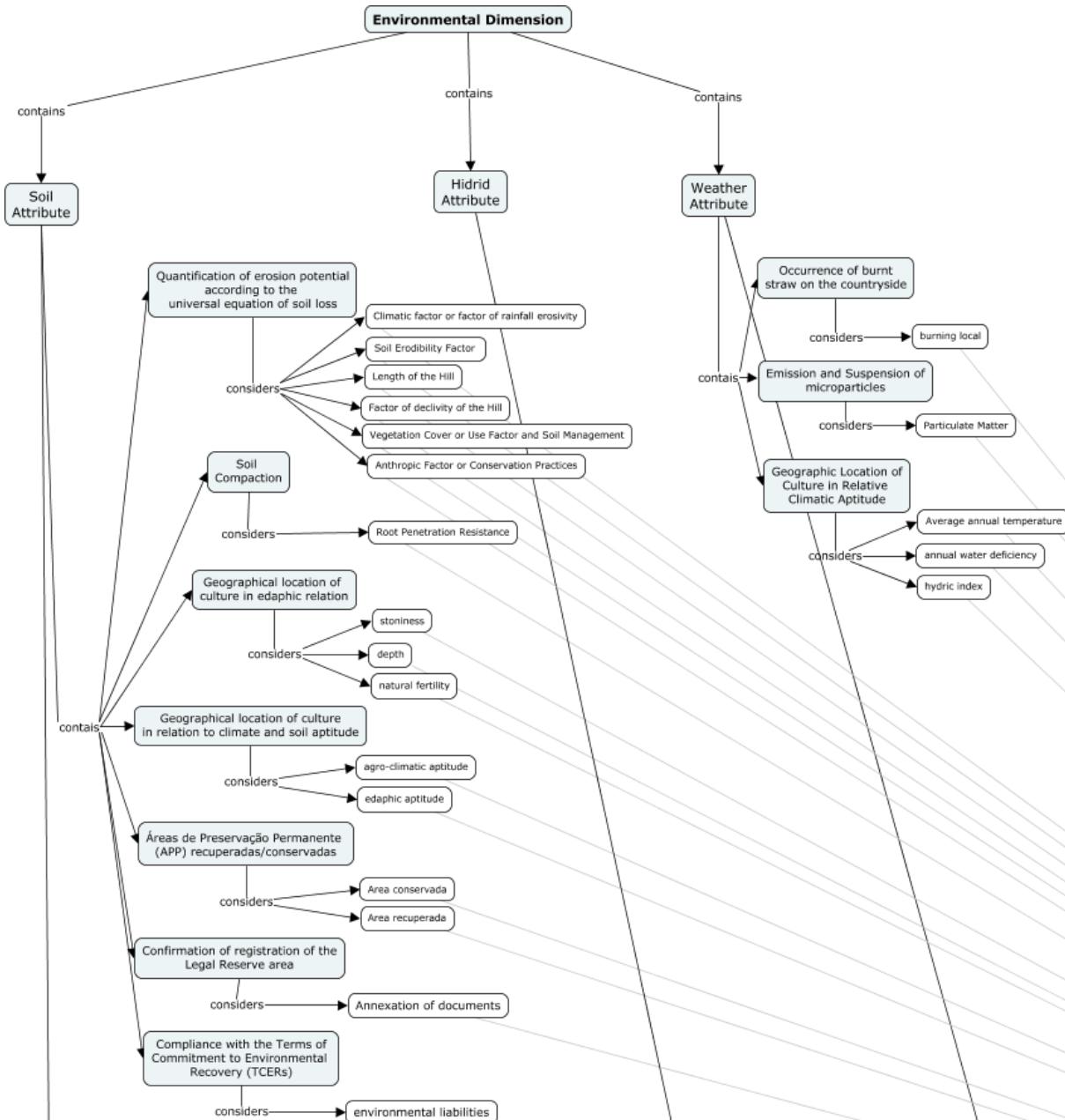


Figura 15 – Mapa conceitual - Ambiental

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

Nesta dimensão (ambiental), não foi possível identificar indicadores de tipo hídrico porque não existe consenso entre os especialistas consultados sobre quais são os aspectos mais relevantes destes para a avaliação da sustentabilidade, mas é um aspecto fundamental para trabalhar nas próximas etapas de pesquisa.

A Figura 16, representa a dimensão social, onde são definidos os seguintes conceitos:

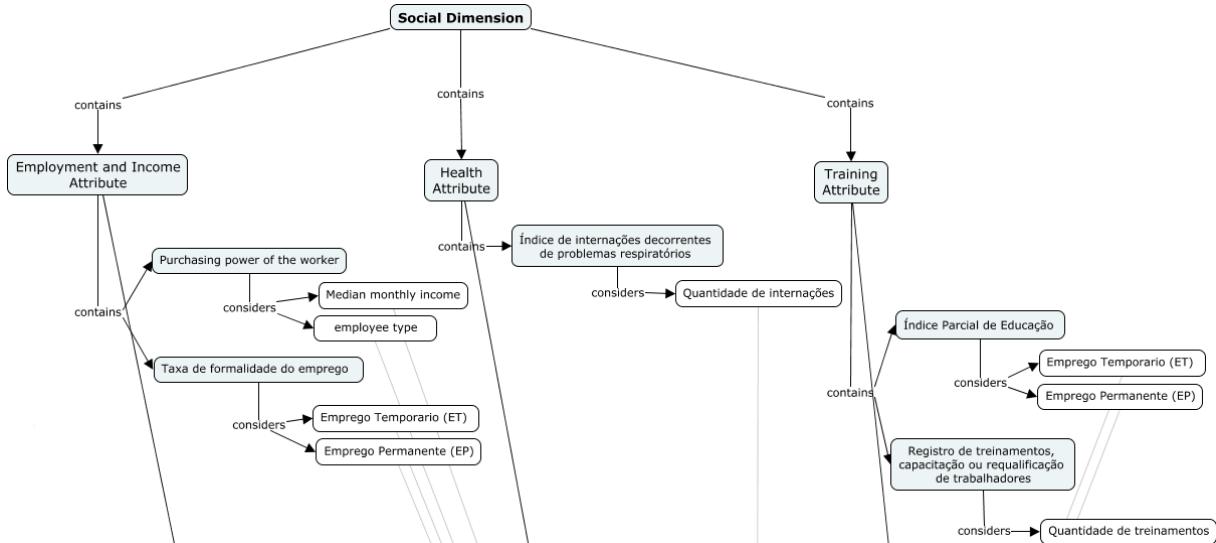


Figura 16 – Mapa conceitual - Social

- Atributo emprego e renda: indicadores que avaliam os aspectos referentes à mão-de-obra.
- Atributo saúde: indicadores que avaliam os aspectos de segurança dos trabalhadores.
- Atributo treinamento: indicadores que avaliam os aspectos da capacitação dos trabalhadores.

Nesta dimensão (Social), é importante reconhecer que as unidades produtivas, sejam do tipo fazendas ou usinas, são compostas por 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.

As Figuras 17 e 18 apresentam a dimensão econômica, onde foram definidos os seguintes conceitos:

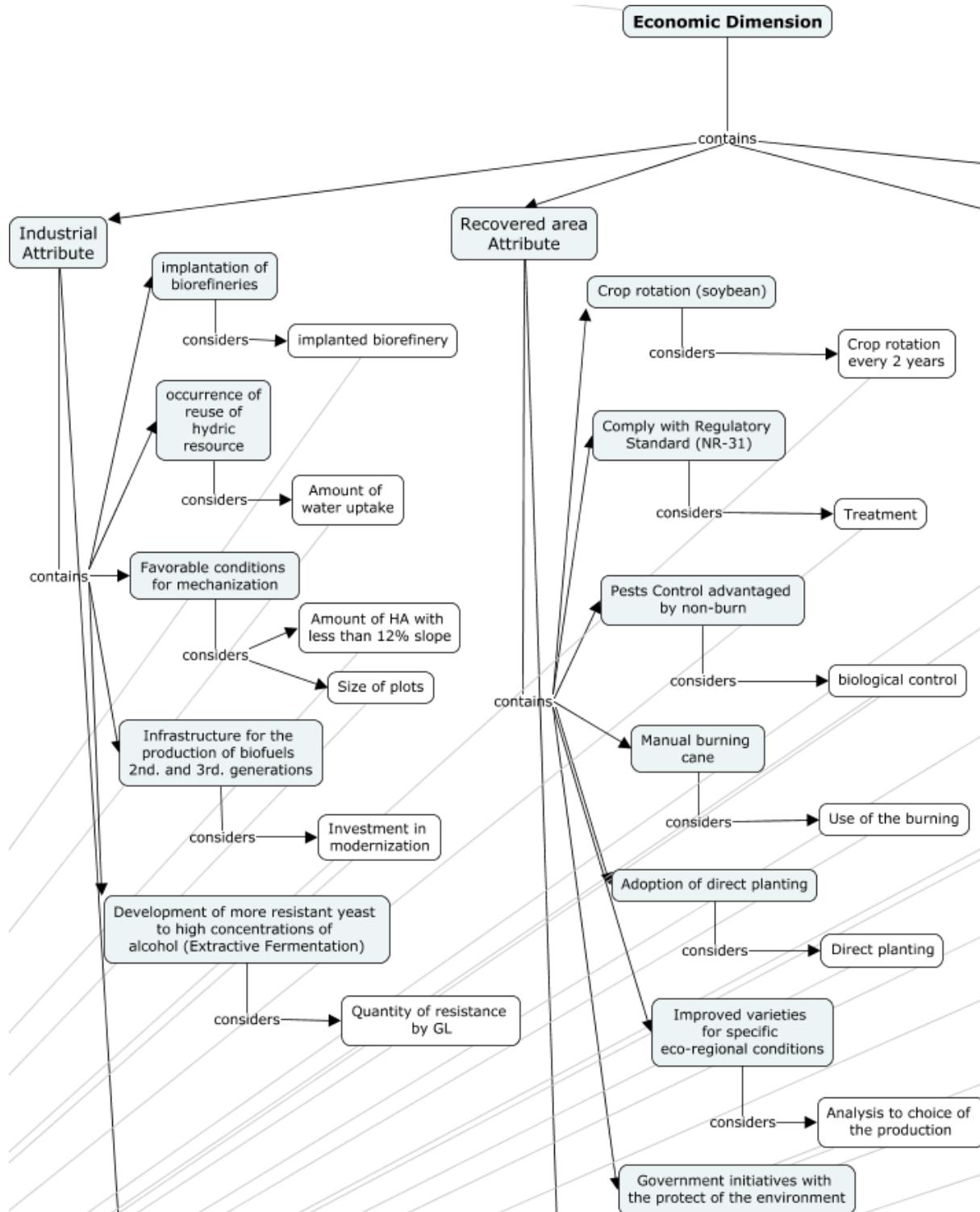


Figura 17 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica primeira parte.

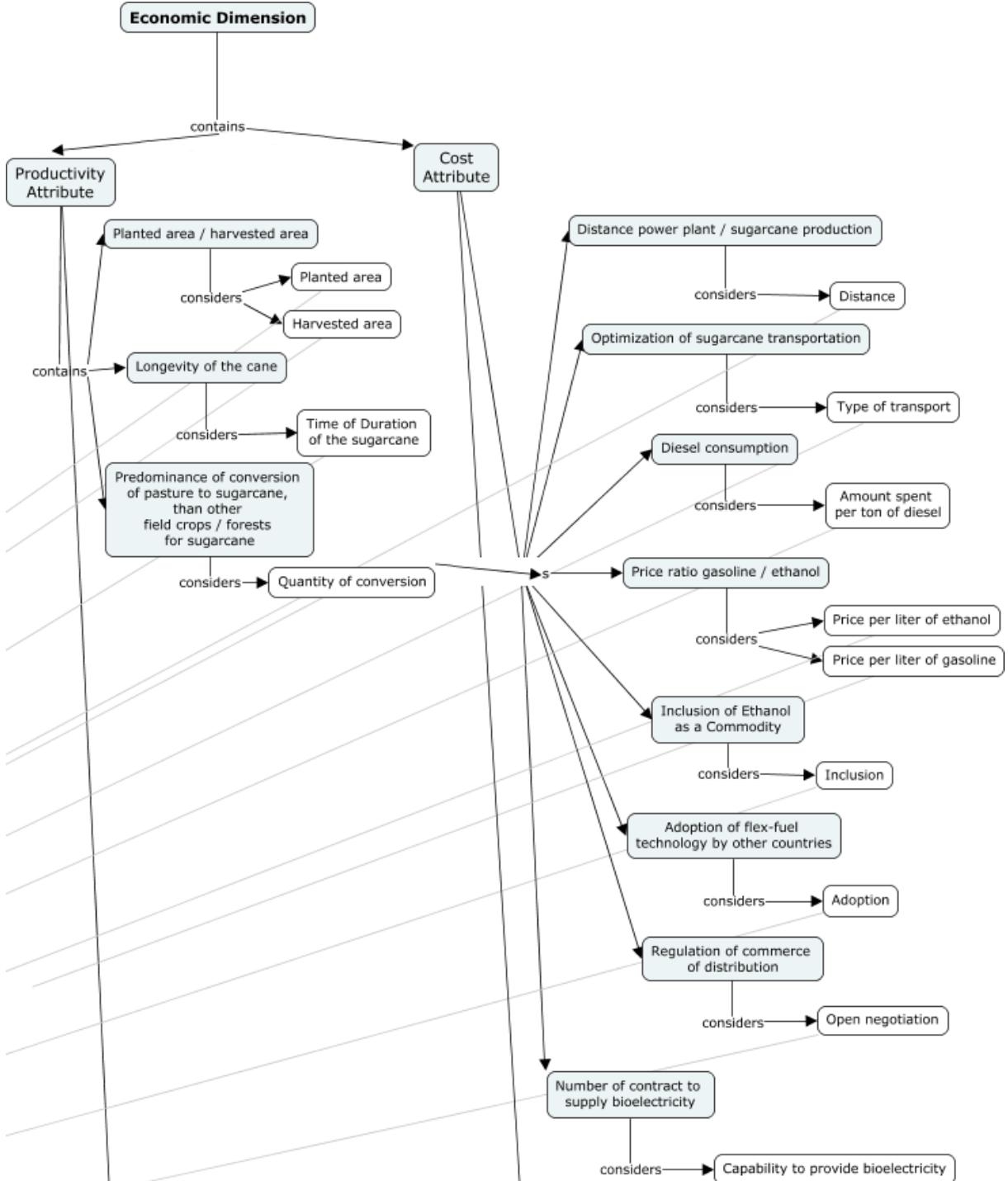


Figura 18 – Mapa conceitual - Dimensão Econômica segunda parte.

- Atributo industrial: indicadores que avaliam os aspectos industriais.
- Atributo área recuperada: indicadores que avaliam os aspectos da área produtiva e das técnicas produtivas.
- Atributo produtividade: indicadores que avaliam os aspectos dos produtos e dos processos produtivos.
- Atributo custo: indicadores que avaliam os aspectos dos custos da produção.

A forneceu dados econômicos das principais usinas do estado de São Paulo, que permitiram definir a dimensão econômica das unidades produtivas na ontologia do domínio.

Cada uma das três dimensões devem ser avaliadas equitativamente para gerar um resultado coerente com a teoria da sustentabilidade agrícola.

A Figura 19 mostra os conceitos que fazem a união das dimensões e do método de avaliação. Cada um dos conceitos relacionados com o método de avaliação utilizam os indicadores para realizar o processo de avaliação. A intenção é representar o mais detalhadamente e claramente possível o processo de avaliação para a sua correta execução.

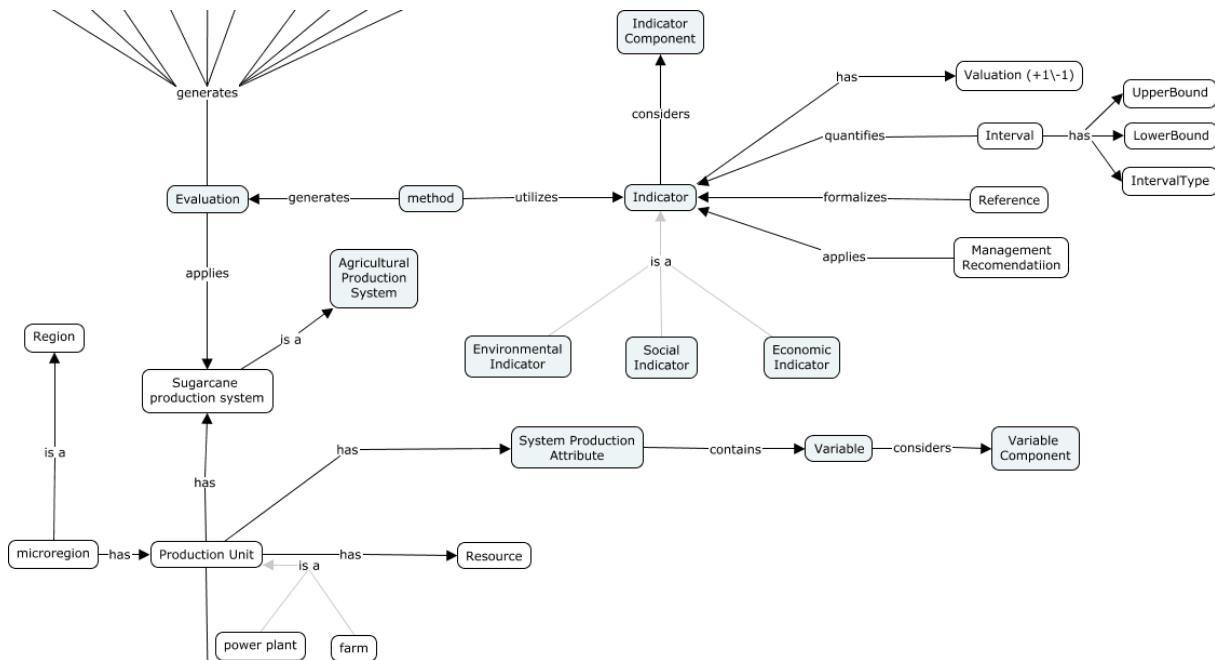


Figura 19 – Mapa conceitual - Método

A continuação serão apresentadas as principais classes modeladas na ontologia.

Production Unit

Representa as organizações que podem ser avaliadas pelo sistema SustenAgro para obter avaliações da sustentabilidade, atualmente podem ser *Fornecedores de cana-de-açúcar* e / ou *Usinas processadoras de cana-de-açúcar*, cada processo de avaliação requer dados que definem as unidades produtivas através das propriedades que os conformam, 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 com o sistema em definição
- `harvestYear`: define o ano da safra.
- `canavialLongevity`: define a longevidade do canavial

Na figura 20 apresenta-se a modelagem de Production Unit, feita na ferramenta Protégé.

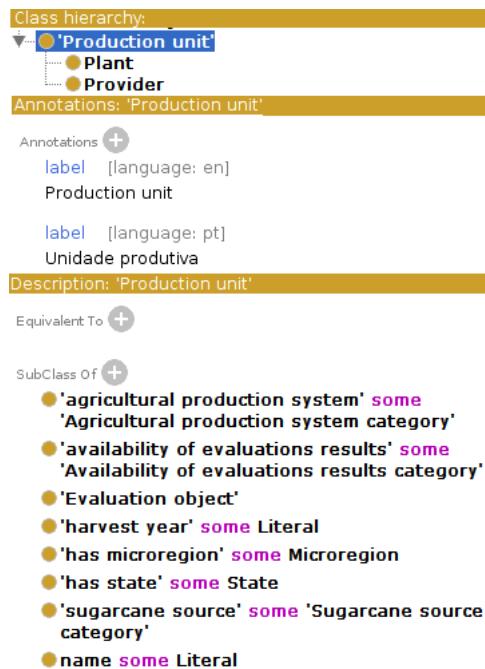


Figura 20 – Modelagem unidade produtiva

Indicator

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

Representam as características das unidades produtivas que serão identificadas e quantificadas em cada processo de avaliação, eles tem um *Value* que quantifica a sustentabilidade do indicador, esta propriedade junto com outras conformam um formato que permite identificar e gerenciar tais elementos.

A figura 21 apresenta a hierarquia dos indicadores, que está subdividida em Efficiency Indicator e Sustainability Indicator, os Indicators tem a propriedade *has value* que estabelece um valor, existe outra propriedade *has weight* que é opcional e estabelece um peso, estas características representam o formato de um *Indicator*.

A figura também apresenta um indicador intitulado Adequacy of boilers que tem como *has value* uma lista composta por duas classes e como propriedade *has weight* uma classe.

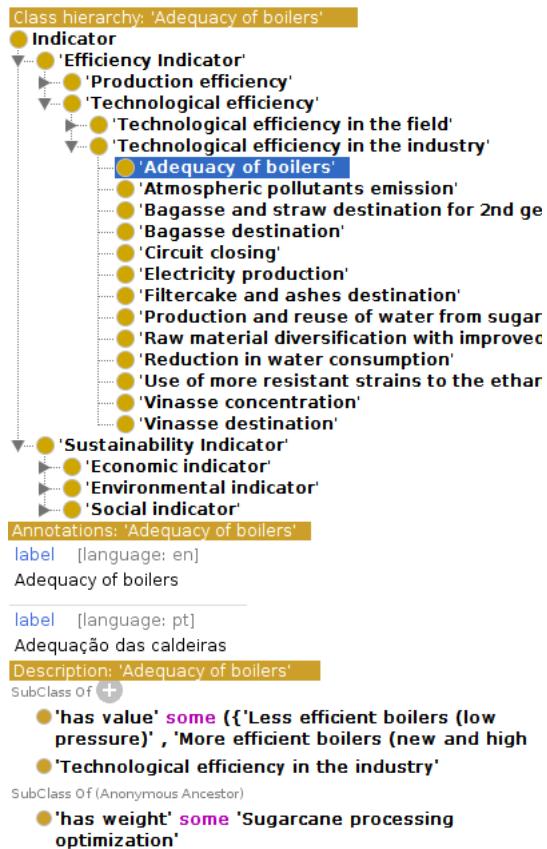


Figura 21 – Modelagem de indicador

Microregion

Representam os locais onde são localizadas as unidades produtivas, permitindo definir a microrregião para as fazendas e usinas do sistema produtivo de cana-de-açúcar, atualmente a ontologia tem 7 estados pertencentes ao centro-sul do Brasil e 243 microrregiões dentro dos estados registrados, estes dados foram consultados semanticamente e integrados no sistema a partir de uma consulta na DB-pedia.

A figura 22 representa a modelagem das localizações geográficas usadas no sistema SustenAgro, com algumas instâncias de *Microregion*.



Figura 22 – Modelagem de microrregião

A partir das anteriores classes foi possível desenvolver o modelo de dados em formato de ontologias da web semântica OWL, as classes descritas foram relacionados por meio de *Object Properties* e *Data Properties* que permitem vincular semanticamente as classes associadas na avaliação de sustentabilidade, os *Data/Object Properties* precisam ter definida a propriedade *rdfs:range* para realizar a validação dos dados vinculados e ditas propriedades podem ser Functional para garantir uma relação de um a um.

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.

5.4 GUIs e Web Components

O design das interfaces gráficas e desenvolvimento dos web componentes foram realizados por meio da varias técnicas de levantamento de requerimentos para especificar as funcionalidades que os especialistas requereram do sistema SustenAgro, devido a que não existiam requerimentos bem definidos, por isso foi necessário usar as seguintes técnicas.

5.4.1 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 “algum objetivo” para “alguma finalidade”.

Na aplicação dessa técnica foram obtidos 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, eles devem adaptar-se às condições das regiões e microrregiões do Brasil.
4. Permitir o emprego da metodologia para avaliação caso a caso: possibilitar que o usuário selecione quais indicadores vai utilizar, podendo recomendar limiares mais adequados para a realidade dle, também pode inserir novos indicadores / limiares.
5. O usuário poderá obter o resultado dos índices segundo a informação preenchida e a formula de agregação dos indicadores.
6. O usuário poderá armazenar a informação dos indicadores para futuras consultas.
7. O usuário poderá acrescentar indicadores que considere importantes para a 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.
8. O sistema deve fornecer um cronograma de avaliação, recomendado realizar avaliação depois de cada safra.

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.

5.4.2 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 atingir a tarefa, a continuação serão apresentadas as 8 histórias de usuários do projeto SustenAgro com os cenários associados a elas:

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 “proximo” 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 ficado, 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, ditos 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 ficado. O sistema apresentará uma tela com três abas que contém os controles que permitiram 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 “história 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 aconteça 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 da click no botão “acrescentar indicador” e 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, depois, preenche o estado do indicador e 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 administradores.
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 em futuras consultas.”

1. O usuário preenche alguns indicadores nos formulários do SustenAgro.
2. Ditos dados serão salvos quando o usuário mudar de formulário ou quando dá 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 a identificação para separar 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.

5.4.3 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 de quadrinhos.

Esta representação permite se ter 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 23 apresenta o processo de cadastro da localização da unidade produtiva, para conseguir vincular dados a partir da localização geográfica.



Figura 23 – StoryBoard definição da localização.

A figura 24 apresenta o formulário de seleção da microrregião que faz parte da localização descrita no anterior storyboard, dita informação é importante para caracterizar a unidade produtiva.



Figura 24 – StoryBoard seleção da unidade produtiva.

A figura 25 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.

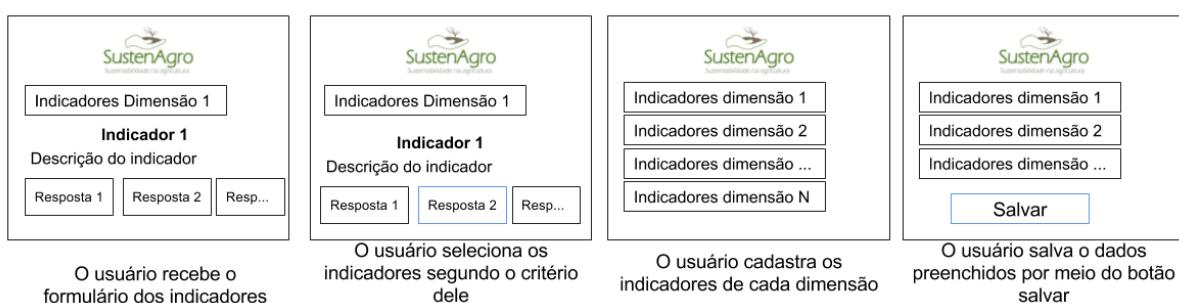


Figura 25 – StoryBoard preenchimento dos indicadores.

A figura 26 apresenta o processo de avaliação para uma unidade produtiva segundo o método Sustenagro, que processará os indicadores preenchidos e gerará informação resultante.

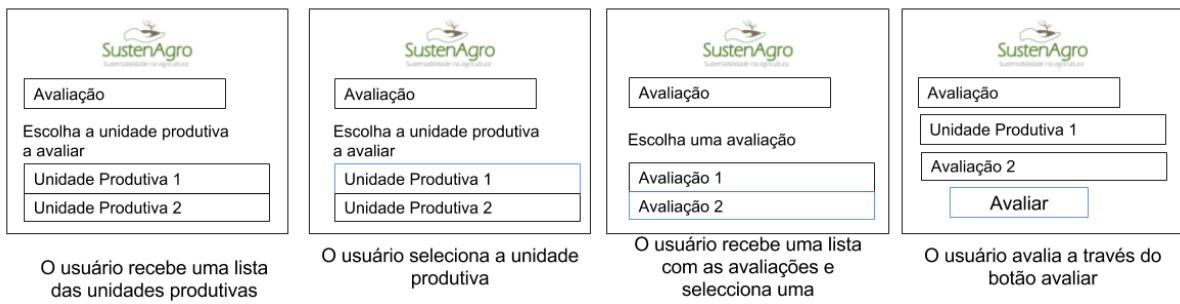


Figura 26 – StoryBoard avaliação de unidade produtiva

A figura 27 apresenta o formulário de definição de novos indicadores por parte dos usuários do sistema, suportando a integração de novos conceitos no sistema.



Figura 27 – StoryBoard cadastro de novo indicador.

A figura 28 apresenta o relatório resultante do processo de avaliação, que está composto pelos índices, uma tabela dos dados cadastrado e como foram processados, a matriz de sustentabilidade e as recomendações

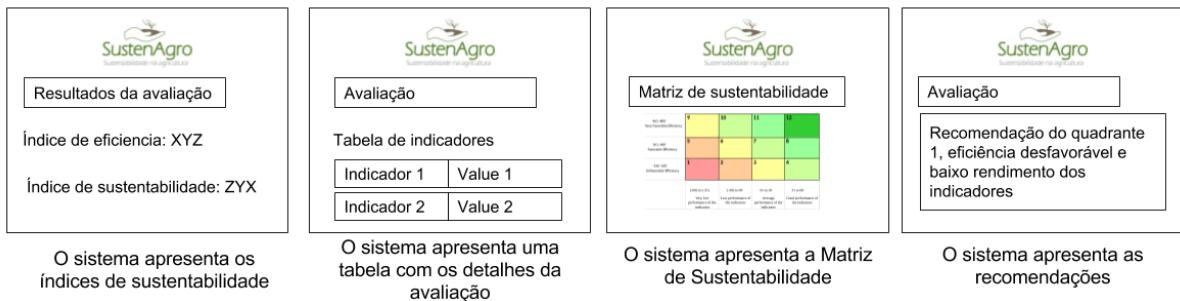


Figura 28 – StoryBoard apresentação de resultados

5.4.4 Mockups das Interfaces do SustenAgro

Os Mockups permitiram realizar uma representação visual das interfaces do sistema com as widgets integradas para ajudar na avaliação por parte dos especialistas do domínio, e assim reor-

ganizar os elementos visuais para definir um design estável das interfaces do sistema.⁴

A figura 29 apresenta uma interface gráfica web do Home, onde está uma descrição do sistema, e as principais abas, entre elas a aba de Ferramenta permite aceder ao processo de avaliação de sustentabilidade.

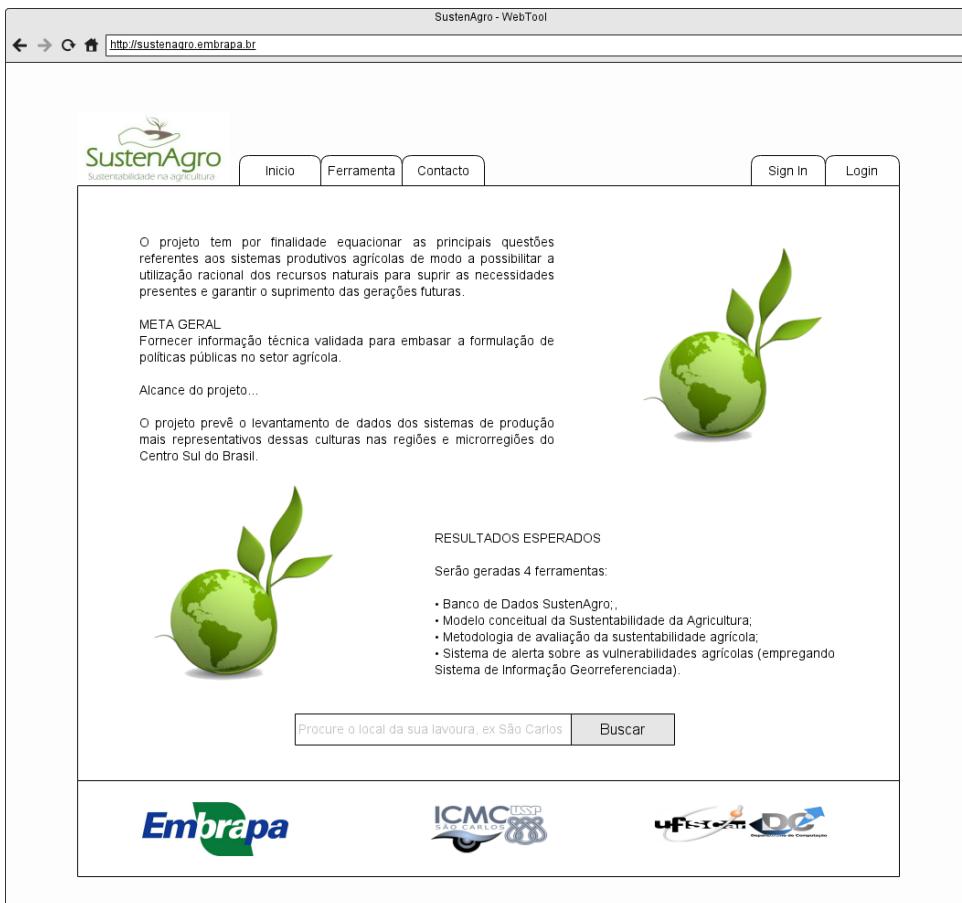


Figura 29 – Mockup da tela inicial do SustenAgro.

A figura 30 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 com o formulário do cadastro dos indicadores que permite cadastrar o valor correspondente à avaliação em processo.

⁴ O desenvolvimento dos Mockups foi feito com a ferramenta Moqups <<https://moqups.com/>>

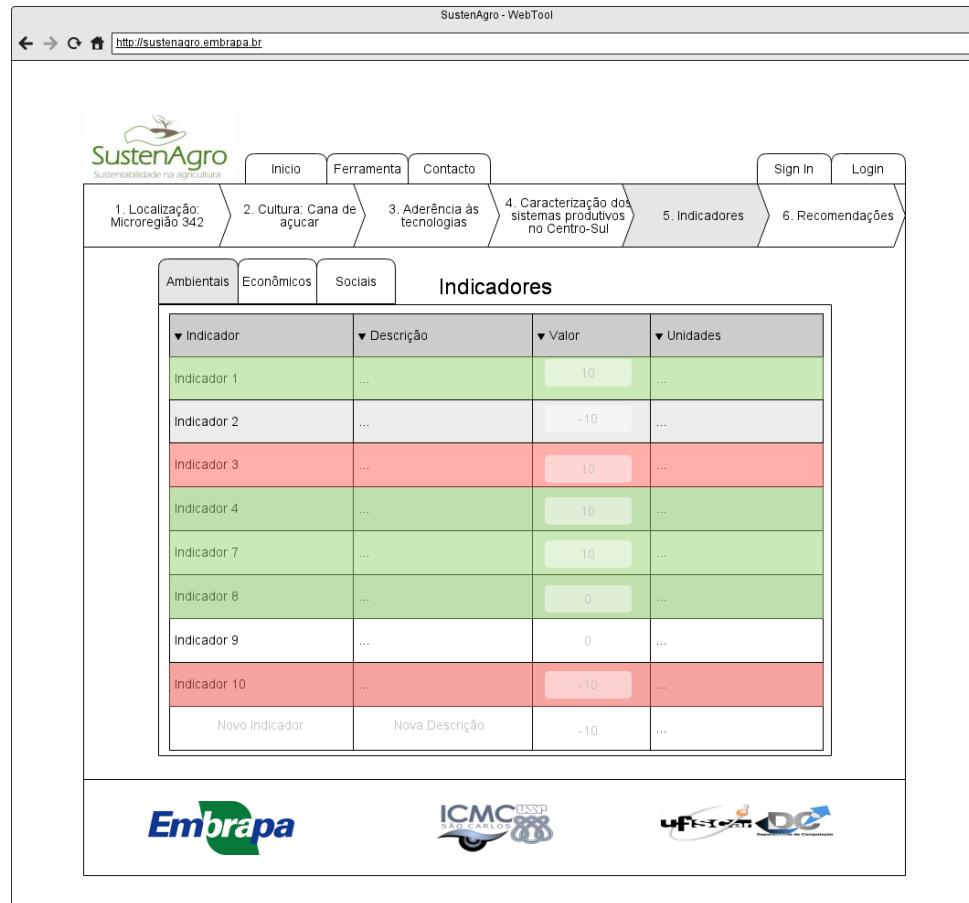


Figura 30 – Mockup da tela de indicadores do SustenAgro.

5.4.5 Protótipo da Interface Gráfica do SustenAgro

O protótipo funcional da interface gráfica do SustenAgro está publicado nos servidores do laboratório Intermídia do ICMC-USP⁵, na Figura 31 é apresentada a página inicial do protótipo.

⁵ <http://biomac.icmc.usp.br:8080/sustenagro/>



Figura 31 – 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.

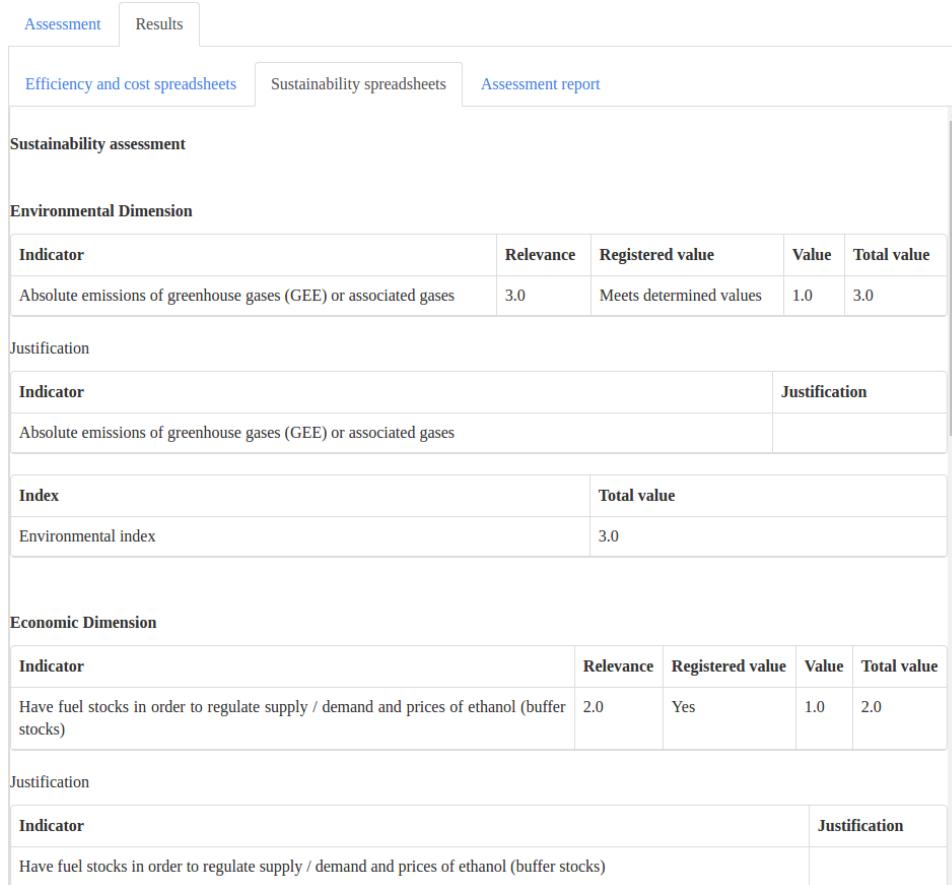
Uma vez cadastrada uma unidade produtiva disponibiliza-se a opção de criar nova avaliação, ação que vai gerar a tela da figura 32 que permite visualizar os indicadores para que os usuários preencham cada um segundo a realidade da unidade produtiva em avaliação, cada indicador tem várias opções de resposta que estão ligadas a valores que quantificam a sustentabilidade, esses valores estão definidos na ontologia da sustentabilidade e são valores de usados nas formula para gerar os índices da sustentabilidade.

Na Figura 32, é apresentada o formulário dos indicadores de eficiência, que tem uma subdivisão em eficiência da produção e da sustentabilidade, permitindo agrupar os indicadores correspondentes a cada dimensão, na figura 32 é preenchido o indicador Manejo a maneira de exemplo, onde é cadastrada uma das opções de resposta e o peso do indicador, para depois suportar o processo de avaliação da sustentabilidade.

The screenshot shows a web-based application for indicator registration. At the top, there's a navigation bar with the SustenAgro logo, menu items like 'Apresentação', 'Avaliação', 'Administração', 'Contato', and a user account dropdown for 'admin'. Below the header, 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 two sections: 'Eficiência da produção' and 'Eficiência tecnológica', with 'Eficiência tecnológica' being the active section. The 'Eficiência tecnológica' section contains a sub-section titled 'Manejo' which includes a list of radio button options for managing canavial. Below this is a 'Peso' dropdown menu set to 'Direta'. The next section is 'Mecanização da cana', also with a list of radio button options and a 'Peso' dropdown menu set to 'Direta'. The final section is 'Organização de produtores ou usinas', with a list of radio button options and a 'Peso' dropdown menu set to 'Direta'. Each section has 'Justificativa' and 'Apagar' buttons.

Figura 32 – Cadastro de indicadores

A partir desses desses dados cadastrados, são gerados os resultados do sistema que consistem na planilha de eficiência e custo, na planilha da sustentabilidade e o relatório do sistema, as planilhas permitem a visualizar os atributos dos indicadores e a tela de relatório apresenta a matriz de avaliação onde são relacionados os indices de eficiência e de sustentabilidade, o relatório é apresentado na figura 33.



The screenshot displays a web-based application interface for sustainability assessment. At the top, there are tabs for 'Assessment' (selected) and 'Results'. Below these are three sub-tabs: 'Efficiency and cost spreadsheets', 'Sustainability spreadsheets', and 'Assessment report'. The main content area is titled 'Sustainability assessment'.

Environmental 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

Justification:

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

Index	Total value
Environmental index	3.0

Economic Dimension

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

Justification:

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

Figura 33 – Planilhas de resultado da avaliação

Foram desenvolvidos dois web components específicos que permitiram suportar gráficas específicas do relatório solicitado pelos especialistas da Embrapa Meio Ambiente

Matriz de sustentabilidade

Com a finalidade de suportar a geração de relatórios que cumpra com as especificações dos especialistas do domínio, foi necessário implementar uma widget específica e compatível com os padrões web components, dita widget foi intitulada Matriz de Sustentabilidade e está composta por dois eixos que correspondem ao índice de eficiência no eixo Y e o índice de sustentabilidade no eixo X, ditos índices tem magnitudes que são divididas em segmentos que permitem dividir a área em doze quadrantes da sustentabilidade, cada avaliação realizado com o método SustenAgro gerá dois índices que são localizados na matriz de sustentabilidade e assim relacionados com um quadrante que tem recomendações específicas, a figura 39 corresponde à implementação desta widget mostrando resultados reais de uma avaliação.



Figura 34 – Matriz de sustentabilidade

Semáforo da sustentabilidade

A widget do semáforo da sustentabilidade também requiriu uma implementação específica segundo as especificações dos especialistas do domínio, dita widget é compatível com os padrões dos web components, e contém um eixo que quantifica o valor da sustentabilidade normalizado desde -100 até +100, dividindo o intervalo em 5 segmentos que correspondem a categorias da sustentabilidade, a figura 35 apresenta a widget implementada e integrada no sistema SustenAgro, com uma avaliação de sustentabilidade instanciada.

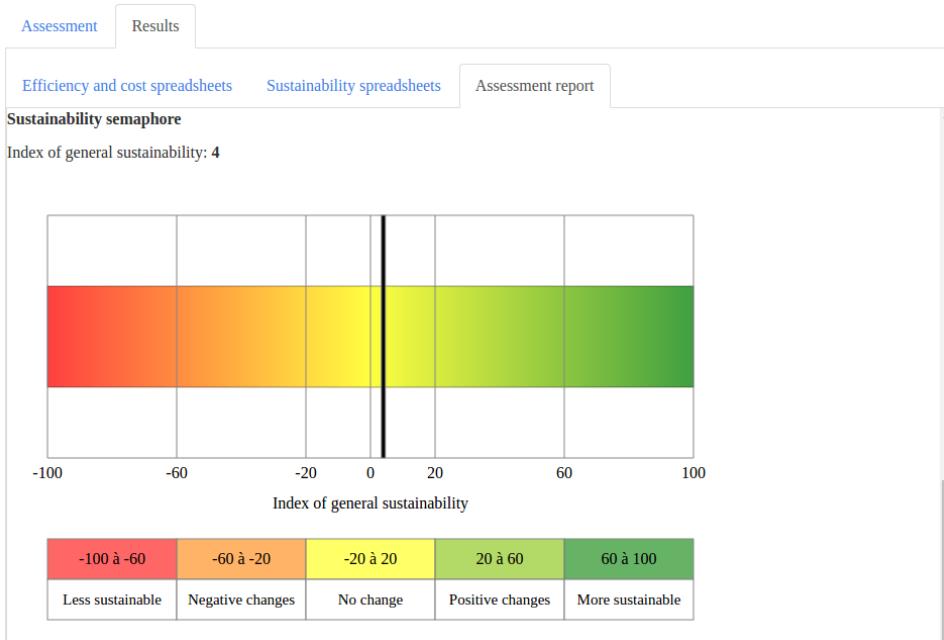


Figura 35 – Semáforo de sustentabilidade

5.5 DSL

A implementação de uma DSL permite aos administradores da ferramenta definir como são usados e apresentados os conceitos da ontologia por meio de elementos da interface gráfica do usuário, para assim fornecer um sistema adaptável às mudanças do domínio, em termos de interface gráfica durante runtime.

Os conceitos das ontologias e os Web Components são vinculados por meio da DSL, para definir o comportamento do SustenAgro, definindo cada uma das funcionalidades do sistema para realizar a personalização e vinculação da informação para assim satisfazer os requisitos dos usuários do sistema SustenAgro, a DSL final do processo de definição do sistema está no código [5.1](#).

Listagem 5.1 – SustenAgro DSL

```

evaluationObject ':ProductionUnit', {
    instance 'ui:hasName', label: ['en': 'Production unit or farm name', 'pt': 'Nome da unidade produtiva ou fazenda'], placeholder: ['en': 'Name', 'pt': "Nome"]
    instance ':hasAgriculturalProductionSystem', label: ['en': 'Agricultural production system', 'pt': "Sistema de produção agrícola"], header: ['en': 'Options', 'pt': "Opções"] type label: ['en': "Production unit type", 'pt': "Tipo da unidade produtiva"], header: ['en': 'Options', 'pt': "Opções"]
    instance ':hasSugarcaneSource', label: ['en': 'Sugarcane source', 'pt': "Origem da cana"], header: ['en': 'Options', 'pt': "Opções"], multipleSelection: true, required: true
}

```

```

instance ':dbp:state', label: ['en': 'State', 'pt': 'Estado'], header: ['en':
    'States', 'pt': 'Estados']
instance ':ui:hasMicroregion', label: ['en': 'Production unit microregion', 'pt':
    "Microrregião da unidade produtiva"], header: ['en': "Options", 'pt':
    "Opções"]
instance ':municipalitiesInvolved', label: ['en': "Municipalities involved (unit location)", 'pt':
    "Municípios envolvidos (localização da sede)"], placeholder: "São Carlos, Jaguariúna, etc"
    instance ':harvestYear', label: ['en': 'Harvest (year)', 'pt': "Safra (Ano)"], placeholder: "yyyy"
instance ':beginningOfPlantingDate', label: ['en': "Planting start date", 'pt':
    "Data de início do plantio"], placeholder: "dd/mm/yyyy"
instance ':finishOfPlantingDate', label: ['en': "Planting end date", 'pt':
    "Data de término do plantio"], placeholder: "dd/mm/yyyy"
instance ':beginningOfHarvestDate', label: ['en': 'Harvest start date', 'pt':
    "Data de início da colheita"], placeholder: "dd/mm/yyyy"
instance ':finishOfHarvestDate', label: ['en': 'Planting end date', 'pt':
    "Data de término da colheita"], placeholder: "dd/mm/yyyy"
instance ':canavialLongevity', label: ['en': "Canavial longevity (time in years and months)", 'pt':
    "Longevidade do canavial (tempo em anos e meses)"], placeholder: ['en': "One and a half year", 'pt':
    "Um ano e meio"]
instance ':innovationDevelopmentProjects', label: ['en': "Innovation/development projects (BNDES, Finep)", 'pt':
    "Projetos de inovação e/ou desenvolvimento (BNDES, Finep)"], placeholder: ['en': "Description", 'pt':
    "Descrição"], widget: 'textAreaForm'
instance ':financing', label: ['en': "Financing (agricultural credit, machinery costing, BNDES)", 'pt':
    "Financiamento (crédito agrícola, custeio de maquinário, BNDES)"], placeholder: ['en': "Description", 'pt':
    "Descrição"], widget: 'textAreaForm'
instance ':partnershipsForResearchOrImprovementOfTheSystem', label: ['en': "Partnerships for research or system enhancement (Name of partnership institution, institution type, public or private, cooperatives or associations)", 'pt':
    "Parcerias para pesquisa ou aprimoramento do sistema (nome da instituição parceira, tipo da instituição pública, privada, Cooperativas ou associações)"], widget: 'textAreaForm', placeholder: ['en': "Description", 'pt':
    "Descrição"]
instance ':hasAvailabilityOfEvaluationResults', label: ['en': "Availability of evaluation results", 'pt':
    "Disponibilização dos resultados da avaliação"], header: ['en': "Options", 'pt':
    "Opções"]
}

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', ':TechnologicalEfficiencyInTheIndustrial'
    }
}
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) * (
        technologicalEfficiencyInTheField+technologicalEfficiencyInTheIndustrial)
    evaluationObjectInfo()
    sustainabilityMatrix x: sustainability, y: efficiency, label_x: ['en': 'Sustainability Index', 'pt': 'Índice de Sustentabilidade'],
    label_y: ['en': 'Efficiency index', 'pt': 'Índice de Eficiência'], range_x: [-43,43], range_y: [-160,800], quadrants: [4,3], recomendations: ["Avaliação da eficiência: balanço da eficiência tecnológica, produção, custo favorável para o sistema cana, recomenda-se investimentos no sistema avaliado / Avaliação da sustentabilidade: com bom desempenho, sistema de produção de cana fortemente recomendado."]
}

```

```

sustainabilitySemaphore value: sustainability,           label: [ 'en'
': 'Sustainability Level', 'pt': 'Índice da sustentabilidade geral'],
legend: [[ 'en': 'Lower sustainability', 'pt': 'Menos
sustentável', 'label': 'Alterações negativas'],
[ 'en': 'Negative changes', 'pt': 'Sem alteração'],
[ 'en': 'Irrelevant changes', 'pt': 'Alterações positivas'],
[ 'en': 'Positive changes', 'pt': 'Higher sustainability'],
[ 'en': 'Mais sustentável']] ,
range: [-60,60]

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

map      data.'Microregion'
}

```

5.6 Considerações Finais

O desenvolvimento do sistema Sustenagro satisfaz uma necessidade presente na unidade da Embrapa Meio Ambiente: um sistema de avaliação de sustentabilidade em sistemas produtivos de cana-de-açúcar, ele permitirá adquirir dados do estado atual de sustentabilidade nas fazendas e usinas e assim embasar e formalizar políticas públicas para promover práticas produtivas mais sustentáveis de acordo com critérios ambientais, sociais e econômicos.

Além de satisfazer uma necessidade institucional, o SustenAgro se consolida como uma proposta de SAD baseado em conhecimento e vinculado às tecnologias da web semântica, um processo que requereu um trabalho de pesquisa e de inovação tecnológica, a pesquisa deste trabalho de mestrado.

Após o desenvolvimento do Sistema SustenAgro, foram analisadas as principais características fundamentais desse tipo de SAD e se abstraiu uma arquitetura, para suportar a implementação de outros SADs da própria Embrapa.

CAPÍTULO

6

Avaliação

Conclusões

Os resultados obtidos são:

1. Ontologia em formatos da web semântica (RDF/OWL) da avaliação da sustentabilidade no sistema de cana-de-açúcar.
2. Protótipo de ontologia de interfaces gráficas em formatos da web semântica (RDF/OWL)
3. Linguagem de domínio específico DSL, Decisioner, para definir e permitir administrar os parâmetros e processos do sistema SustenAgro
4. Protótipo de sistema de geração de interfaces suportado nas tecnologias da web semântica
5. Formulários para recolha de dados sobre sustentabilidade em cana-de-açúcar, e o processo de colheita dos dados de algumas usinas do estado de São Paulo
6. Protótipo do sistema web Sustenagro que integra as ontologias e a DSL, fornecendo um comportamento configurável em tempo de execução dos parâmetros, processos e das interfaces gráficas de usuário

Uma das finalidades deste projeto é construir um gerador de sistemas de apoio a decisão que consiga suportar outros domínios de conhecimento, propondo para a comunidade uma metodologia de desenvolvimento e manutenção que fique simples para os usuários finais e assim permitir que os especialistas no domínio façam as mudanças sem precisas dos especialistas de T.I.

7.1 Discussão

7.2 Trabalhos Futuros

Analisando os componentes e o desenvolvimento do Sistema SustenAgro, surgem ideias que permitem expandir o trabalho atual e propor projetos de investigação e desenvolvimento tecnológico, entre as possibilidades identificadas estão:

7.2.1 Editor de ontologias web focado no usuário especialista

No sistema SustenAgro foi integrado um editor de ontologias que é baseado no formato YAML de fácil legibilidade, com a finalidade de fornecer uma ferramenta web de fácil uso e acesso para que os usuários especialistas possam editar a ontologia do domínio, no caso de SustenAgro a ontologia de avaliação de sustentabilidade.

A partir de esta ferramenta é possível propor um editor online focado em especialistas do domínio, com a finalidade de facilitar a definição e edição de ontologias, o qual poderia estar composto pelas seguintes funcionalidades:

1. Editor textual do conhecimento do domínio do especialista
2. Editor de mapas conceituais que reuse informações do texto
3. Editor visual da ontologia que reuse os mapas conceituais e permita gerar o modelo hierárquico RDFS
4. Editor de regras e OWL
5. Editor de indivíduos
6. Publicação da ontologia em um repositório permanente

7.2.2 Linguagem de definição de SAD: Decisioner

No sistema SustenAgro, foi desenvolvida uma DSL que permite definir o comportamento de um SAD, no caso realizado foi o desenvolvimento de um sistema de avaliação de sustentabilidade, os conceitos foram abstraídos por meio da ontologia de SAD que permite identificar e modelar os conceitos gerais dos sistemas software de avaliação usados pela Embrapa Meio Ambiente, o que resultou em uma linguagem de propósito específico para o sistema SustenAgro e similares.

Esta linguagem pode ser validada, melhorada e expandida por meio da definição e desenvolvimento de outros SAD com propósitos similares, desenvolvimento continuado pelo sistema NanoTec Ram que permite a valiação do risco.

7.2.3 Reportes de consultas semânticas

Gerar SADs que suportem consultas complexas que requerem conhecimento semântico, facilitando o processo de análises da informação por parte dos usuários.

7.2.4 Linguagem de edição de VIEWs

Na geração de interfaces gráficas é necessário o gerenciamento e organização do conteúdo e das widgets (elementos de uma GUI) com a finalidade de fornecer uma representação visual que consiga informar um determinado assunto.

Atualmente na geração de VIEWs nos sistemas web, são usadas tecnologias feitas para os desenvolvedores web front-end que permitem a manipulação da estrutura do documento através de

HTML, do estilo do documento através de CSS e do comportamento JS. Mas estes elementos estão focados na representação computacional dessas características, porém é possível propor outra maneira de representação em nível mais alto.

A proposta é de uma linguagem para edição de VIEWS, onde os elementos estejam modularizados permitindo abstrair a View em uma hierarquia de componentes relacionando-os semanticamente por meio de uma linguagem de alto nível de usuário não especialista em web development.

7.2.5 Organização de widgets por meio de Polymer

No desenvolvimento do Sistema SustenAgro, foram definidas 60 widgets que foram reutilizadas na definição de cada uma das vistas de SustenAgro, essas widgets estão definidas no formato de templates do framework Grails

7.2.6 Georeferenciação nos SAD

1. Recuperação dos dados dos repositórios FAO Linked Data
2. Utilização de dados de fontes externas como Geonames, Wikimapia, DBpedia
3. Mapeamento dos dados para uma *triplestore* utilizando coordenadas geográficas para GeoSPARQL

7.2.7 Desenvolver um framework para geração das interfaces usuário-computador geral para SAD.

7.2.8 Fornecer um sistema de classificação e busca de controles de interfaces usuário-computador

7.3 Dificuldades e Limitações

Até o presente momento, foi evidenciado como dificuldade para desenvolvimento do projeto as escassas fontes de informação que fornecem uma conexão entre sistemas de produção agrícola e sustentabilidade. Só foi possível encontrar fontes de informação especializada em cada área do conhecimento de maneira separada. Outro problema é a falta de dados resultantes da aplicação dos indicadores de sustentabilidade fornecidos pela Embrapa.

Organizacional pela equipe

Interesse heterogêneos por parte da USP e da Embrapa

Cada uma das anteriores etapas de desenvolvimento foram testadas com os especialistas do domínio, para conseguir realizar o correto levantamento de requisitos, devido a que não existia uma definição específica do que os especialistas precisavam.

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=_qGKPOIB1DgC>. (Citado nas páginas 23 e 47.)
- BELLEN, H. M. V. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. [S.l.]: FGV editora, 2005. (Citado nas páginas 83 e 92.)
- 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 na página 22.)
- BOSELEY, B.; CASU, R. E. et al. Development of an ontology to aid sugarcane research. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS. *Proceedings of the 2009 Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists held at Ballina, New South Wales, Australia, 5-8 May 2009*. [S.l.], 2009. p. 250–255. (Citado na página 19.)
- BOSSEL, H. *Indicators for sustainable development: theory, method, applications*. [S.l.]: International Institute for Sustainable Development Winnipeg, 1999. (Citado na página 92.)
- 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 19.)
- 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 83 e 84.)
- 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 83.)
- CAMINO; MÜLLER. *Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores*. [S.l.]: IICA Biblioteca Venezuela, 1993. (Citado nas páginas 92 e 93.)
- 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 12, 36, 53, 84, 86 e 94.)
- EHLERS, E. *Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma*. [S.l.]: Livros da terra, 1996. (Citado na página 83.)
- 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 19.)
- FERRAZ, J. M. G. As dimensões da sustentabilidade e seus indicadores. *Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas*, 2003. (Citado na página 92.)

- 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 85.)
- FOWLER, M. *Domain-specific languages*. [S.l.]: Pearson Education, 2010. (Citado na página 27.)
- 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 92.)
- 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 83 e 91.)
- 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 nas páginas 15 e 41.)
- 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 24.)
- 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 84.)
- 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 31.)
- JUDD, C. M.; NUSAIRAT, J. F.; SHINGLER, J. Beginning groovy and grails. *New York: Appress*, Springer, 2008. (Citado na página 38.)
- KOENIG, D. et al. *Groovy in action*. [S.l.]: Manning, 2007. v. 91. (Citado na página 38.)
- 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 18 e 47.)
- 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 nas páginas 18 e 34.)
- LINHALIS, F.; FORTES, R. de M.; MOREIRA, D. de A. Ontomap: an ontology-based architecture to perform the semantic mapping between an interlingua and software components. *Knowledge and Information Systems*, Springer-Verlag, v. 22, n. 3, p. 319–345, 2010. ISSN 0219-1377. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10115-009-0197-z>>. (Citado na página 31.)
- LU, J. et al. The application of semantic web technologies for railway decision support. In: *Intelligent Decision-making Support Systems*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 321–337. (Citado na página 15.)
- 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 25 e 26.)
- 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 27.)
- 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 92.)

- 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 nas páginas 85 e 86.)
- 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 24.)
- 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 19 e 84.)
- ONU. The future we want. *Technical Report of United Nations Conference on Sustainable Development, Brazil*, 2012. (Citado na página 83.)
- PAHL, C. An ontology for software component matching. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, Springer-Verlag, v. 9, n. 2, p. 169–178, 2007. ISSN 1433-2779. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10009-006-0015-9>>. (Citado na página 31.)
- 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 24.)
- PAULHEIM, H.; PROBST, F. Ontology-enhanced user interfaces: A survey. *Semantic-Enabled Advancements on the Web: Applications Across Industries: Applications Across Industries*, IGI Global, p. 214, 2012. (Citado nas páginas 33 e 34.)
- 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 91 e 92.)
- ROUSSEY, C. et al. Ontologies in agriculture. In: *AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering*. [S.l.: s.n.], 2010. (Citado nas páginas 18 e 34.)
- RUIZ, F.; HILERA, J. R. Using ontologies in software engineering and technology. In: *Ontologies for software engineering and software technology*. [S.l.]: Springer, 2006. p. 49–102. (Citado nas páginas 33 e 34.)
- RUSHER, J. Triple store. In: *Workshop on Semantic Web Storage and Retrieval-Position Paper*. [S.l.: s.n.], 2003. (Citado na página 41.)
- SCHWABER, K.; BEEDLE, M. gilé software development with scrum. 2002. (Citado na página 46.)
- SEI, S. Views and beyond architecture documentation template. 2006. (Citado na página 31.)
- SIMON, H. A. *The architecture of complexity*. [S.l.]: Springer, 1991. (Citado na página 84.)
- 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 23.)
- 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 21.)
- SUGUMARAN, V.; GULLA, J. A. *Applied semantic web technologies*. [S.l.]: CRC Press, 2011. (Citado na página 25.)

- 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 15 e 16.)
- WILSON, J.; TYEDMERS, P.; PELOT, R. Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. *Ecological Indicators*, v. 7, n. 2, p. 299 – 314, 2007. ISSN 1470-160X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X06000215>>. (Citado na página 18.)
- 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 93.)
- 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 86 e 94.)

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 \(2005\)](#).

[Giessman \(2001\)](#) 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 ao 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 de 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 36 representa as três dimensões com a sustentabilidade como a interseção entre elas.

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

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

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

The Three Spheres of Sustainability

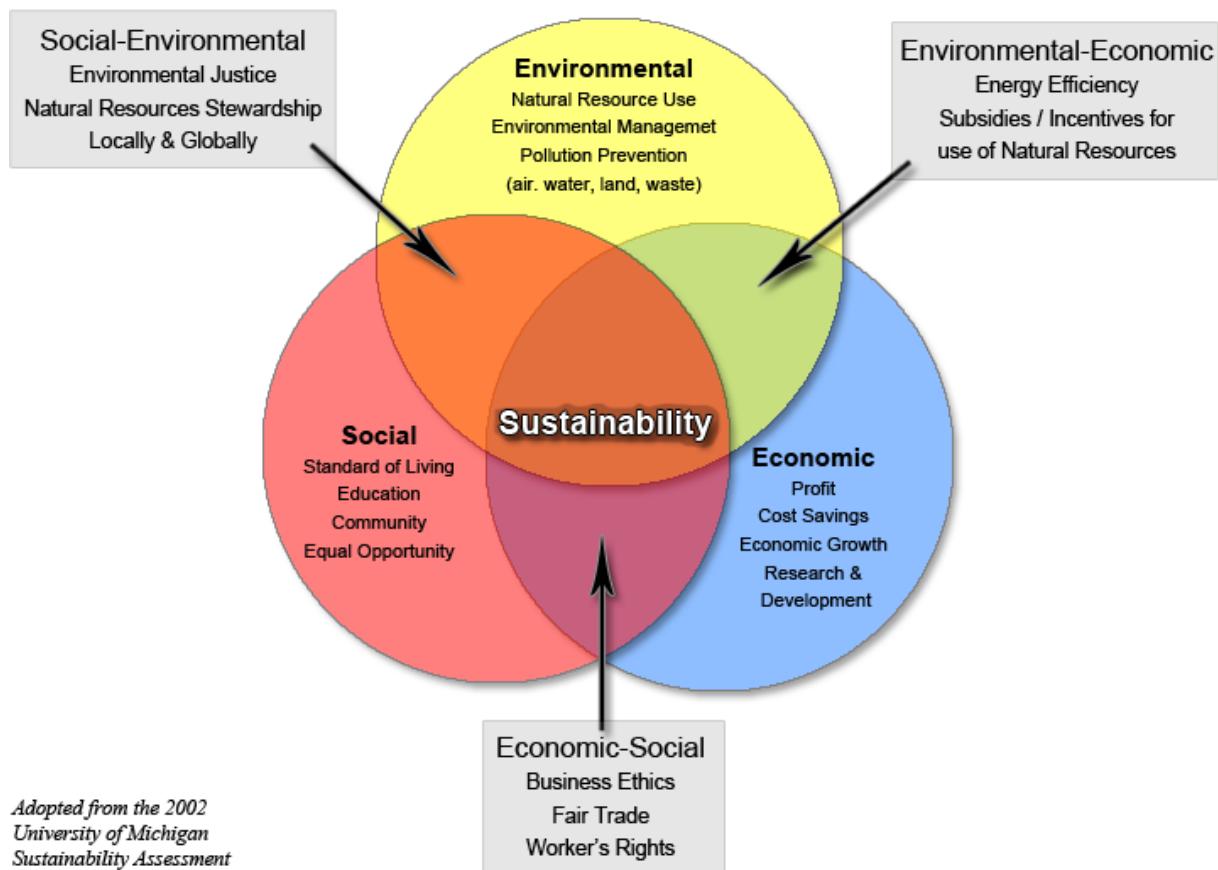


Figura 36 – Dimensões da sustentabilidade

[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:

- Produtividade: Relacionado a eficiência e custos.
- Estabilidade: Capacidade do ecossistema de absorver perturbações e permanecer inalterado (CEPAL/PNUMA, 1994) [Moura \(2002\)](#)
- Equidade: Distribuição dos produtos do agroecossistema entre produtores e consumidores (Dias Junior, 2000) [Moura \(2002\)](#)
- Resiliência: Capacidade do ecossistema de retornar ao estado original após de uma perturbação (CEPAL/PNUMA, 1994) ([MOURA, 2002](#))
- Autonomia: Grau de integração entre as partes constituintes do agroecossistema e o ambiente externo no fluxo de materiais, energia e informação (Fernández, 1995) ([MOURA, 2002](#))

entre as partes constituintes e entre o agroecossistema e o ambiente externo (Fernández, 1995) ([MOURA, 2002](#))

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 contentores 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 [37](#) e [38](#), no qual foram originados os indicadores de sustentabilidade e o método de avaliação ([CARDOSO, 2013; ZORZO, 2015](#)).

Cronograma

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
Kacia.Jesus@embrapa.br
Embrapa Meio Ambiente
Caixa postal 69
CEP 13820-000 Jaguariuna/SP
www.cpmma.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 de modelo conceitual



 Ministério do
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Figura 37 – 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 38 – 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:

$$\text{efficiency}(\text{field}) = \sum (\text{CharacteristicsInTheField} * \text{RelevanceForTheProductionEnvironment}) * \text{correctionFactor}(0.8)$$

Formula de eficiência tecnologia na indústria:

$$\text{efficiency}(\text{industry}) = \sum (\text{CharacteristicsOfProcessing} * \text{SugarcaneProcessingOptimization}) * \text{correctionFactor}(0.2)$$

Formula de eficiência produtiva e de custo:

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

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

Índice de eficiência:

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

Índice de sustentabilidade

As equações para calcular o índice de sustentabilidade são:

Formula de eficiência tecnologia no campo:

$$\text{EnvironmentalIndex} = \sum(\text{EnvironmentalIndicator} * \text{EnvironmentIndicatorWeight})$$

Formula de eficiência tecnologia na industria:

$$\text{EconomicIndex} = \sum(\text{EconomicIndicator} * \text{EconomicIndicatorWeight})$$

Formula de eficiência produtiva e de custo:

$$\text{SocialIndex} = \sum(\text{SocialIndicator} * \text{SocialIndicatorWeight})$$

Índice de eficiência:

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

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 uns dos quadrantes da matriz, a figura 39 representa cada uma das classificações com os limiares correspondentes a cada índice.

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 39 – Matriz de sustentabilidade

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 desenvolvedores 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 1 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 1 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão ambiental

Os indicadores da tabela 2 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 2 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão social

Os indicadores da tabela 3 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.

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.

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 3 – Indicadores de sustentabilidade de SustenAgro na dimensão econômica

Instalação

A instalação dos Sistemas Decisioner e SustenAgro divide-se em dois processos, a configuração do servidor web e o deploy do arquivo 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:

C.1.1 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
```

C.1.2 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 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
```

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

```
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

C.1.3 Instalação do WkHtmltoPdf

A tecnologia WkHtmltoPdf permite converter páginas web em formato Html a 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 contém 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
```