

---

SustenAgro: sistema especialista baseado em web semântica para  
avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção agrícola

*John Freddy Garavito Suárez*

---



Data de Depósito:

Assinatura:

SustenAgro: sistema especialista baseado em web semântica para avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção agrícola

**John Freddy Garavito Suárez**

**Orientador:** *Prof. Dr. Dilvan de Abreu Moreira*

**Coorientador:** *Profa. Dra. Katia Regina Evaristo de Jesus*

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

**USP – São Carlos**

**Fevereiro de 2015**

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

Suárez, John Freddy Garavito

SustenAgro: sistema especialista baseado em web  
semântica para avaliação da sustentabilidade em sistemas  
de produção agrícola / John Freddy Garavito Suárez. -  
São Carlos - SP, 2015.

42 p.; 29,7 cm.

Orientador: Dilvan de Abreu Moreira.

Coorientador: Katia Regina Evaristo de Jesus.

Qualificação (Mestrado em Ciências - Ciências de  
Computação e Matemática Computacional) - Instituto de  
Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São  
Carlos - SP, 2015.

1. Sistema web. 2. Sistema especialista. 3. Apoio  
na tomada de decisão. 4. Metodologia de avaliação  
da sustentabilidade. 5. Sistema agrícola. 6. Sistema  
produtivo de cana-de-açúcar. I. Moreira, Dilvan de  
Abreu. II. Instituto de Ciências Matemáticas e de  
Computação (ICMC/USP). III. Título.

# RESUMO

GARAVITO, S.. **SustenAgro: sistema especialista baseado em web semântica para avaliação da sustentabilidade em sistemas de produção agrícola**. 2015. 42 f. Qualificação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC/USP), São Carlos – SP.

Os sistemas agrícolas têm a finalidade de produzir os alimentos e subprodutos essenciais para o sustento da humanidade, a natureza complexa destes sistemas exigem enfoques que representem os aspectos relevantes, para assim compreendê-los, analisá-los e fazer inferências que levem à tomada de decisões que contribuam na conservação deles mesmos.

A sustentabilidade aborda este tipo de estudos na identificação das características ambientais, ecológicas e econômicas, que permitem representar e atuar nos sistemas agrícolas, neste sentido um processo essencial é a avaliação da sustentabilidade que permite conhecer o estado do sistema com a finalidade de tomar decisões que façam melhoras de sustentabilidade em cada uma das três dimensões.

Para sistematizar o processo de avaliação da sustentabilidade e fornecer uma tecnologia adaptável que represente as mudanças do domínio do conhecimento propôs-se o sistema SustenAgro que representa os conceitos dos especialistas por meio de uma ontologia e implementa a metodologia de avaliação desenvolvida pela unidade de meio ambiente da Embrapa, este software integra tecnologias da web semântica como ontologias, armazenamento em *triplestore*, consultas semânticas e Domain Specific Language (DSL), que em conjunto satisfazem varios requisitos de *flexibility* e *usability* do software no ambiente da Internet.

Os principais aportes do projeto são: a ontologia que representa o conhecimento da avaliação da sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, a qual vai suportar as funcionalidades do sistema *software* e as DSL que têm a finalidade de facilitar a modificação dos conceitos do domínio e da interface gráfica por parte dos especialistas, fornecendo desta maneira a flexibilidade do sistema na adaptação às mudanças.

**Palavras-chave:** Sistema web, Sistema especialista, Apoio na tomada de decisão, Metodologia de avaliação da sustentabilidade, Sistema agrícola, Sistema produtivo de cana-de-açúcar.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

---

---

Figura 1 – Arquitetura de SustenAgro . . . . .	27
Figura 2 – Primeiro esboço do mapa conceitual . . . . .	29
Figura 3 – Processo de geração de interfaces graficas . . . . .	31
Figura 4 – Metodologia de definição das ontologias . . . . .	32
Figura 5 – Mapa conceitual - Ambiental . . . . .	34
Figura 6 – Mapa conceitual - Social . . . . .	35
Figura 7 – Mapa conceitual - Econômica . . . . .	36
Figura 8 – Mapa conceitual - Método . . . . .	37
Figura 9 – Protótipo de SustenAgro - Home . . . . .	38
Figura 10 – Protótipo de SustenAgro - Indicadores . . . . .	39





# LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1 – Cronograma de atividades . . . . .	37
---	----



# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

AGROVOC	Agricultural Vocabulary
AOS/CS ..	Agricultural Ontology Service Concept Server
DSL .....	Domain Specific Language
DSL .....	Domain Specific Language
DSL .....	Domain-Specific Language
Embrapa ..	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO .....	Food and Agriculture Organization
KOS .....	Knowledge Organization System
LOD .....	Linked Open Data
LOD .....	Linked Open Data
OWL .....	Web Ontology Language
OWL .....	Web Ontology Language
RDF/RDFS	Resource Description Framework/Schema
SDI .....	Sustainable Development Indicator



# SUMÁRIO

---

1	INTRODUÇÃO . . . . .	13
1.1	Motivação . . . . .	14
1.2	Objetivos . . . . .	15
1.2.1	<i>Objetivo geral</i> . . . . .	15
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i> . . . . .	15
1.3	Organização . . . . .	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .	17
2.1	Avaliação da sustentabilidade . . . . .	17
2.1.1	<i>Sustentabilidade</i> . . . . .	17
2.1.2	<i>Critérios de sustentabilidade</i> . . . . .	17
2.1.3	<i>Atributos norteadores</i> . . . . .	18
2.1.4	<i>Indicadores de sustentabilidade</i> . . . . .	18
2.1.5	<i>Limiares de sustentabilidade</i> . . . . .	20
2.1.6	<i>Índices de sustentabilidade</i> . . . . .	20
2.2	Web semântica . . . . .	20
2.3	Ontologia (ciência da computação) . . . . .	21
2.4	Domain Specific Language . . . . .	21
2.5	Sistemas especialistas para apoio à decisão . . . . .	21
2.6	Considerações finais . . . . .	22
3	TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .	23
3.1	Revisão do estado da arte . . . . .	23
3.2	Considerações finais . . . . .	25
4	PROPOSTA DE TRABALHO . . . . .	27
4.1	Descrição . . . . .	27
4.1.1	<i>Ontologia do domínio</i> . . . . .	28
4.1.2	<i>TripleStore</i> . . . . .	30
4.2	Ontologia de interface gráfica . . . . .	30
4.3	DSL de interfaces . . . . .	30
4.4	Sistema gerador de interfaces gráficas . . . . .	31
4.5	Metodologia . . . . .	31
4.6	Resultados esperados . . . . .	33

4.7	Desenvolvimento . . . . .	33
4.7.1	<i>Ontologia de SustenAgro</i> . . . . .	33
4.7.2	<i>Protótipo da interface grafica de SustenAgro</i> . . . . .	36
4.8	Cronograma de atividades . . . . .	36
4.9	Considerações finais . . . . .	37
Referências . . . . .		41

---

## INTRODUÇÃO

---

Os sistemas de produção agrícola são sistemas complexos (SIMON, 1991) que integram fenômenos de diversa natureza, podem-se identificar dentro dele o subsistema natural que é o que fornece as condições físicas, químicas e biológicas que suportam o desenvolvimento das culturas, também é envolvido o subsistema social quando são integradas organizações e pessoas que influem na produção e comunicação tanto externamente como internamente e finalmente é envolvido o subsistema econômico que estabelece as condições de oferta e demanda dos produtos do sistema de produção agrícola, o conjunto destes fenômenos conforma um sistema complexo que requiere uma abordagem holística e estratégica para garantir a sustentabilidade do sistema.

Dada a complexidade dos sistemas de produção agrícola, surge a necessidade de avaliar o estado dele para conferir o correto funcionamento ou para tomar decisões que garantam a sustentabilidade, por esta razão são desenvolvidas metodologias de avaliação da sustentabilidade que abordam a avaliação em termos de indicadores que medem características críticas do sistema, as quais indicam se existem problemas em cada um dos subsistemas mencionados, que também são chamados dimensões da sustentabilidade, segundo a literatura são divididas nas seguintes três: dimensão ambiental, dimensão econômica e dimensão social (OLSSON *et al.*, 2009).

Com a finalidade de fornecer uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade que permita o uso massivo e seja adaptável às mudanças do domínio, propõe-se no presente projeto o desenvolvimento de um sistema computacional de avaliação da sustentabilidade para sistemas de produção de cana-de-açúcar no centro-sul do estado de São Paulo - Brasil, este tipo de sistemas também são classificados como sistemas especialistas que contém o conhecimento de um domínio particular, sobre o qual é possível fazer inferências e assim realizar recomendações que apoiem a tomada de decisões.

Para avaliar a sustentabilidade é preciso ter em conta os aspectos críticos em cada dimensão, e assim identificar possíveis fraquezas para tomar medidas corretivas que garantam

produções sustentáveis, por isso foram definidos indicadores em cada uma das dimensões da sustentabilidade por parte de uma comunidade de especialistas (CARDOSO, 2013), esta definição vai-se padronizar em um formato computacionalmente legível por meio de ontologias da web semântica que representam e organizam o conhecimento, conseguindo assim uma representação entendível pelos humanos e computadores, além de fornecer suporte com outras tecnologias da web semântica e assim realizar consultas complexas que permitem responder perguntas de interesse para os usuários do sistema.

A ontologia do conhecimento do domínio vai-se integrar com outra ontologia que representa a interface gráfica, as quais vão suportar a definição dos conceitos do domínio e da interface gráfica por parte dos usuários administradores, concedendo flexibilidade ao sistema para incluir cada um dos indicadores, métodos e recomendações que vão-se construindo por parte dos especialistas do domínio.

Nesta pesquisa vão-se desenvolver as tecnologias: ontologia de avaliação da sustentabilidade, ontologia de interface gráfica, DSL para definição de interfaces de usuário, sistema gerador de interfaces e implementação do método de avaliação de sustentabilidade.

O sistema de avaliação da sustentabilidade intitulado SustenAgro e faz parte de um macroprojeto de avaliação de sustentabilidade liderado pela unidade de Meio Ambiente da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) com a finalidade de definir políticas públicas no setor produtivo da cultura de cana-de-açúcar.

## 1.1 Motivação

O processo de avaliação da sustentabilidade da cultura de cana-de-açúcar que atualmente é realizado pelos especialistas está em continua construção e depende do contexto produtivo nas três dimensões da sustentabilidade, sendo um processo praticamente particular para cada cultura, devido a estas características decidiu-se computorizar para facilitar a aplicação dele, porém é necessária uma arquitetura que facilite a comunicação entre os especialistas do domínio e os desenvolvedores da ferramenta, neste sentido as ontologias separam o conhecimento do domínio da lógica da computação, e assim permite abordar os desenvolvimentos de uma maneira independente, tanto do software como da representação do conhecimento do domínio, por isso o primeiro produto tecnologico da presente pesquisa vai Ser a ontologia SustenAgro.

O conhecimento de sustentabilidade no sistema de cana-de-açúcar será representado por meio de entidades, relações semânticas e axiomas. Ditos elementos que vão constituir a ontologia que dará ao sistema SustenAgro uma representação formal dos conceitos do domínio, os quais vão ser integrados em cada uma das funcionalidades do sistema permitindo uma personalização e vinculação da informação para suprir os requisitos do usuário.

A ontologia de SustenAgro também vai suportar uma Domain Specific Language (DSL)



que permitirá definir por parte dos usuários administradores os elementos e o aspecto da interface gráfica do usuário, para assim fornecer flexibilidade na definição da interface gráfica.

Finalmente outra característica que será implementada no sistema SustenAgro é a recuperação da informação com conteúdo semântico, permitindo que o sistema de respostas a consultas complexas que integram semântica.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo geral*

Desenvolver um sistema web baseado em conhecimento do especialista que permita realizar a avaliação da sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo e que flexibilize os conceitos e a interface gráfica por parte dos usuários administradores.

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

- Desenvolver a ontologia de SustenAgro que vai ser a base conceitual e tecnológica de todo o sistema, a qual vai integrar o conhecimento da sustentabilidade e do sistema produtivo de cana-de-açúcar.
- Desenvolver a DSL de SustenAgro que vai flexibilizar a definição da interface de usuário por parte dos administradores do sistema.
- Demonstrar que um sistema especialista integrado com as tecnologias da web semântica, permite a realização de consultas complexas que requerem conhecimento semântico e que isto facilita o processo de análises da informação por parte dos usuários.
- Definir uma arquitetura para sistemas de avaliação baseados em conhecimento de domínios específicos.

## 1.3 Organização

Esta monografia está organizada da seguinte forma: no Capítulo 1 é apresentada uma visão global do projeto e os objetivos que vão ser desenvolvidos. No Capítulo 2 são apresentados os principais conceitos estudados na literatura científica que são relacionados à área de avaliação da sustentabilidade suportada por sistemas especialistas e web semântica. No Capítulo 3 são apresentadas as pesquisas relacionadas com avaliação da sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar e baseada em web semântica. No Capítulo 4 é apresentada uma descrição detalhada da proposta do trabalho, a metodologia, os resultados esperados, e o cronograma para condução das próximas etapas desta pesquisa.



---

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

---

### 2.1 Avaliação da sustentabilidade

#### 2.1.1 *Sustentabilidade*

Não existe um consenso sobre a definição de sustentabilidade, mas uma definição guia para o nosso projeto é a seguinte:

“O desenvolvimento sustentável prevê o atendimento das necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades, Brundtland Commission” (BURTON, 1987)

Após o 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).

#### 2.1.2 *Critérios de sustentabilidade*

São as variáveis transversais quantitativas e qualitativas, que estabelecerão os preceitos de orientação para que os indicadores sejam representativos para a sustentabilidade.

Os indicadores deverão atender pelo menos um dos critérios de sustentabilidade para ser considerado um bom indicador de sustentabilidade, os critérios de sustentabilidade escolhidos são:

- **Produtividade:** Relacionado a eficiência e custos.
- **Estabilidade:** Capacidade do ecossistema de absorver perturbações e permanecer inalterado ( CEPAL/PNUMA, 1994) (Apud Moura, 2002)

- **Equidade:** Medida de como os produtos do agroecossistema são distribuídos entre os produtores e consumidores locais (Dias Junior, 2000) (Apud Moura, 2002)
- **Resiliência:** Capacidade do ecossistema flutuar dentro de certos limites e voltar ao seu estado original depois de uma perturbação (CEPAL/PNUMA, 1994) (Apud Moura, 2002)
- **Autonomia:** Grau de integração do agroecossistema no fluxo de materiais, energia e informação entre as partes constituintes e entre o agroecossistema e o ambiente externo (Fernández, 1995) (Apud Moura, 2002)

### **2.1.3 Atributos norteadores**

Os atributos norteadores são variáveis que serão mais representativas dos sistemas de produção agrícola em termos dos compartimentos ambiental e socioeconômico formulados para alcance da sustentabilidade.

Os atributos norteadores serão formulados para garantir que as diretrizes para o levantamento e validação dos indicadores reflitam os sistemas de produção agrícola. Uma proposta dos atributos norteadores é a seguinte:

- **Dimensão Ambiental:** Solo, Hídrico e Clima.
- **Dimensão Social:** Saúde, Capacitação, Emprego e Renda
- **Dimensão Econômica:** Industrial, Agrícola, Produtividade e Custo

### **2.1.4 Indicadores de sustentabilidade**

Os indicadores são instrumentos usados para avaliar uma determinada realidade, o uso de indicadores permite medir e monitorar aspectos da realidade, seu principal objetivo é agregar, quantificar e simplificar informações sobre fenômenos complexos de modo que as tendências fiquem mais significativas e aparentes, a fim de melhorar o processo de entendimento e comunicação (Bossel, 1999; Bellen, 2005). De acordo com Gallopin (1996) os melhores indicadores são aqueles que simplificam as informações relevantes, tornando os fenômenos mais claros.

Três Requisitos Gerais para escolha de um bom indicador, segundo OECD (1993):

- **Relevância política e utilidade para usuários**
- **Solidez analítica**
- **Mensurabilidade**

Além disso, devem apresentar também:

- Simplicidade de mensuração
- Repetibilidade ao longo do tempo
- Sensibilidade para detectar mudanças no sistema
- Permitir o cruzamento com outros indicadores

Os indicadores devem ser capazes, não apenas de sinalizar a existência de uma degradação no sistema, mas também de advertir sobre eventuais perturbações potenciais, por isso foi definido o conceito de nível crítico de um indicador:

- O limite inferior do nível crítico é aquele no qual a velocidade de degradação é alta, mas ainda pode ser revertida.
- O limite superior do nível crítico se refere ao ponto de irreversibilidade de degradação do recurso.

A finalidade de um indicador de sustentabilidade é refletir as alterações nas propriedades fundamentais de um sistema (Camino & Müller, 1993) e advertir sobre eventuais perturbações potenciais (Ferraz, 2003).

Alguns exemplos de indicadores do sistema produtivo:

- Risco climático
- Diversidade de culturas anuais
- Tipo de solo
- Risco de déficit hídrico
- Diversidade de mercados
- Produtividade da terra
- Renovabilidade energética nos sistemas de produção
- Balanço de nutrientes (nitrogênio e fósforo)
- Presença de florestas
- Risco de epidemias

### **2.1.5 Limiares de sustentabilidade**

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/Produção de cana
- Descrição do indicador: usualmente, em tradicionais regiões produtoras de cana utiliza-se de uma distância econômica padrão da produção até a indústria, de 20 quilômetros. 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 20 km: Mais sustentável (+1)
  - Distância de mais de 20 km: Menos sustentável (-1)

### **2.1.6 Índices de sustentabilidade**

Revela o estado de um sistema ou fenômeno, é uma síntese das características ou variáveis analisadas, analisa dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos, este será o meio de agregação dos indicadores, para formular o índice de sustentabilidade parcial, por ex. por dimensão ou geral

## **2.2 Web semântica**

A web tem sido 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 que dificulta a recuperação da informação. 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; ALVARENGA, 2004)

A busca realizada pelos sistemas de recuperação de informação utiliza-se de palavras-chave 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).

Então, com o intuito de preencher esse gargalo semântico na busca por informações, surge a web semântica. Ela tem como objetivo incorporar significado às informações presentes na web, criando um ambiente onde agentes de software e usuários possam trabalhar de forma cooperativa e entender o significado (sentido) presente nos dados (BRANDÃO; LUCENA, 2002).

## 2.3 Ontologia (ciência da computação)

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

Além do anterior, não existe um consenso sobre sua exata definição, segundo (GRUBER, 1995) uma ontologia é uma especificação formal e explícita de conceitos que compartilham o mesmo domínio de informação. Ainda nesse contexto (NOY; MCGUINNESS *et al.*, 2001) relatam que as ontologias surgiram para compartilhar, organizar e especificar conhecimentos de um determinado domínio.

Em ciências da computação as ontologias são representadas em formato Resource Description Framework/Schema (RDF/RDFS) ou Web Ontology Language (OWL)

## 2.4 Domain Specific Language

Uma linguagem de domínio específico, em inglês Domain-Specific Language (DSL), é um tipo de linguagem de programação ou linguagem de especificação em desenvolvimento de software e engenharia de domínio, dedicada à um domínio de problema particular, uma técnica de representação de problema particular e/ou uma técnica de solução particular.

O conceito não é novo - linguagens de programação de propósito especial e todos os tipos de linguagem de modelagem/especificação sempre existiram, mas o termo se tornou padrão devido a ascensão da modelagem de domínio específico.

## 2.5 Sistemas especialistas para apoio à decisão

Sistemas especialistas são programas que têm como objetivo simular o raciocínio de um profissional “expert” em alguma área de conhecimento específica. Sendo uma classe de programa

de computador desenvolvido por pesquisadores de Inteligência Artificial durante os anos 1970 e aplicado comercialmente durante os anos 1980. Em síntese, são programas constituídos por uma série de regras (às vezes também heurísticas) que analisam informações normalmente fornecidas pelo usuário do sistema sobre uma classe específica de problema ou domínio de problema.

## **2.6 Considerações finais**

Neste capítulo foram apresentados os principais conceitos da avaliação da sustentabilidade segundo o levantamento de indicadores que foi realizado com antecedência nas etapas iniciais do projeto Sustenagro (CARDOSO, 2013), além disso também foi apresentado os conceitos da web semântica e dos sistemas especialistas, gerando assim uma base conceitual que suportará a sistematização do processo de avaliação da sustentabilidade em sistemas produtivos de cana-de-açúcar.



---

## TRABALHOS RELACIONADOS

---

### 3.1 Revisão do estado da arte

A duplicação da demanda global de alimentos projetadas para os próximos 50 anos, coloca enormes desafios para a produção de alimentos em ecossistemas aquáticos e terrestres, novos incentivos e políticas para garantir a *sustainability of agriculture* e os *ecosystem services* serão cruciais para atender as demandas de melhoramento da produtividade sem comprometer a integridade do ambiente ou a saúde pública (TILMAN *et al.*, 2002), por esta razão é importante gerar estratégias que permitam conhecer o estado dos sistemas produtivos e melhorar segundo as necessidades identificadas.

Na pesquisa de (EWERT *et al.*, 2009) apresenta varias estrategias para abordar a complexidade nos sistemas agrícolas, começa relacionando a agricultura com os ambientes socioeconômicos e naturais, e enfrenta o problema de gerir suas múltiplas funções de uma maneira sustentável, o *Integrated Assessment and Modelling (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 *disciplines* e *scales* e combina análises quantitativos 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 o modelagem integrado para avaliação do impacto em agricultura.

A pesquisa apresenta exemplos da natureza complexa do sistema agrícola (ITTERSUM *et al.*, 2008) Os sistemas agrícolas evoluem continuamente e são forçados a mudar como resultado de uma gama de forças globais e locais. As tecnologias em agricultura e as políticas agrícolas, ambiental e de desenvolvimento estão crescentemente designadas para contribuir à sustentabilidade da agricultura.

Uma estratégia são os métodos e metodologias de avaliação, as quais utilizam indicadores, um exemplo de este enfoque é a pesquisa (OLSSON *et al.*, 2009) onde desenvolveram 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 realizada por (WILSON; TYEDMERS; PELOT, 2007) analisam o melhor abordagem para o desenho e uso de modelos Sustainable Development Indicator (SDI), esta pesquisa direciona um aspecto desta pergunta explorando se as métricas globais SDI estão enviando uma mensagem clara para guiar o desenvolvimento sustentável.

Seis global SDI metrics são comparadas e apresentação combinada dos resultados ilustra que as diferentes métricas variam a interpretação sobre a sustentabilidade das nações, o grau de variabilidade entre as métricas é analisado por meio de análises de correlação, ao final se define que não existe consenso sobre o melhor abordagem.

Existem pesquisas que abordam a sustentabilidade desde ferramentas tecnológicas, as quais podem servir de referencia ao sistema SustenAgro, uma delas foi desenvolvida por (BRI-LHANTE *et al.*, 2006) e consiste em um *framework* (MOeMA-IS) para análise sustentável do estado do Amazonas, faz uso de uma ontologia para descrição de Indicadores de sustentabilidade (ISD-Economics Ontology), onde são utilizados 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. As medidas de sustentabilidade estão explícitas na ontologia. O *framework* trabalha de forma onde a base dele é a ontologia e ele pega os indicadores de bases de dados (não descrito se são *triplestores*) e as medidas e valores padrões de outra base e assim o *framework* calcula as medidas dos indicadores e dá um resultado relevante ao tipo de necessidade. Para o desenvolvimento da ontologia foi utilizada a ferramenta *Protégé* utilizando o plugin de OWL e alguns indicadores foram feitos utilizando a classe do SUMO do OWL.

Outra ferramenta foi desenvolvida por (KRAINES; GUO, 2011) 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 conceptualizações de ciência sustentável: *situational knowledge*, *analytic methods* e *scenario frameworks*. Os conhecimentos dos especialistas podem ser descritos por meio de *semantic statements* utilizando esta ontologia o *semantic matching based on logic* e *rule-based inferences* foram usados para quantificar o *conceptual overlap of semantic statements*.

Alem disso na literatura existem pesquisas relacionadas com o vocabulário Agrícola

Vocabulary (AGROVOC) <sup>1</sup> 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), estes termos podem ser reutilizados nas ontologias (LIANG *et al.*, 2006), permitindo uma padronização com os identificadores dos conceitos, reusando informações e integrando os conceitos com outros dados da Linked Open Data (LOD), esta reutilização foi feita através da vinculação de AGROVOC ao sistema Agricultural Ontology Service Concept Server (AOS/CS), a FAO desenvolveu um modelo base para esse novo sistema utilizando o Web Ontology Language (OWL)

Cada uma destas pesquisas fornece um exemplo do uso das tecnologias da internet e da web semântica na criação de soluções baseadas em conhecimento, isto é confirmado pelo artigo (ROUSSEY *et al.*, 2010) onde descrevem 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.

A pesquisa feita por (BOSELEY; CASU *et al.*, 2009), da 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 estágio de desenvolvimento.

## 3.2 Considerações finais

A abordagem que vai-se utilizar no desenvolvimento de SustenAgro é a definição de um sistema de avaliação da sustentabilidade baseado em uma ontologia que represente o conhecimento do sistema produtivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, essa ontologia vai tomar a informação que esta no AGROVOC e dará suporte na indexação, recuperação e organização dos dados, o objetivo da ontologia é suportar o processo de avaliação da sustentabilidade pelo que terá conceitos do domínio do sistema produtivo de cana-de-açúcar e conceitos de sustentabilidade, esta ontologia suportará as funcionalidades do software que fazem possível o processo de avaliação e também será integrada com outra ontologia de interface gráfica para suportar uma DSL que permitirá definir interfaces graficas

---

<sup>1</sup> <http://aims.fao.org/agrovoc>

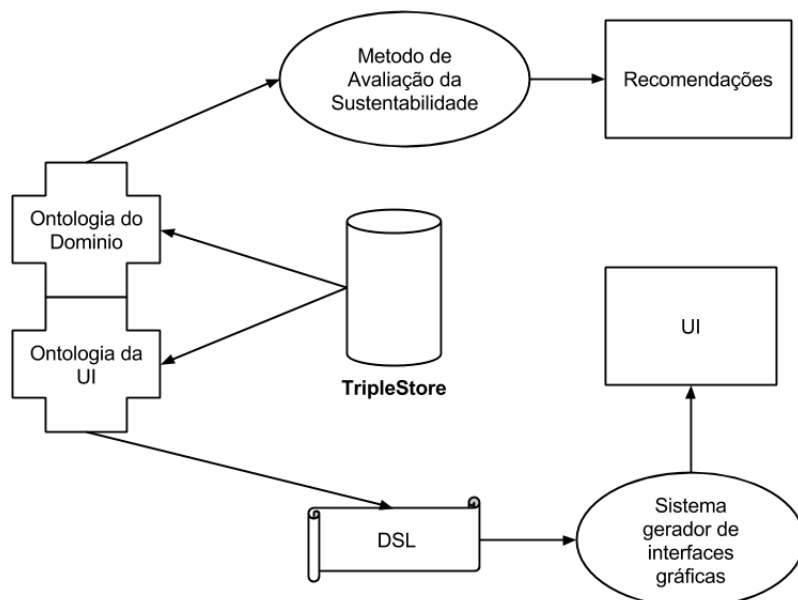


## PROPOSTA DE TRABALHO

### 4.1 Descrição

O sistema web SustenAgro vai ser composto por vários desenvolvimentos tecnológicos, uma abordagem da arquitetura do sistema é apresentada na Figura 1, a qual contém os seguintes elementos:

Figura 1 – Arquitetura de SustenAgro



- 1. Ontologia do domínio:** Ontologia que vai representar os conceitos do domínio: avaliação da sustentabilidade do sistema produtivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, é a base fundamental para o sistema SustenAgro porque permite estabelecer os conceitos

fundamentais que vão ser utilizados pelo sistema, entre eles: indicadores, componentes de indicadores, índices, dimensões da sustentabilidade, recomendações e o método de avaliação.

- 2. TripleStore:** Sistema de recuperação da informação que permitirá padronizar as informações em formato de triplas, permitindo a compatibilidade e o reuso das informações entre fontes de dados estrangeiras, construindo desta maneira o objetivo do Linked Open Data (LOD).
- 3. Ontologia de interface gráfica:** Ontologia que representará os controles de usuários, com a finalidade de permitir a manipulação deles por meio de uma linguagem de alto nível que represente cada um dos tipos de controles e suas funcionalidades para fazer um mapeamento entre os tipos de dados que vão ser interagidos entre o sistema e os usuários.
- 4. DSL de interfaces:** Linguagem específica do domínio dos controles web que vão ser fornecidos por SustenAgro e que permitirá uma definição flexível de interfaces, baseadas nos conceitos definidos na ontologia de sustentabilidade em agricultura, permitindo desta maneira a definição das características visuais e dos tipos de controles especializados para cada conceito da ontologia do domínio.
- 5. Sistema gerador de interfaces gráficas:** Sistema no cliente que faz um mapeamento entre a interação do usuário administrador com a linguagem DSL para facilitar a definição da interface gráfica de SustenAgro.

#### **4.1.1 Ontologia do domínio**

Para definir a ontologia realizou-se uma pesquisa das fontes de dados relacionadas com ontologias do domínio de avaliação da sustentabilidade em sistemas agrícolas, concluindo-se que não existem ontologias que suportem este domínio, pelo qual propõe-se desenvolver uma ontologia que utilize os conceitos de avaliação de sustentabilidade e de sistemas agrícolas, e que faça uso das tecnologias relacionadas como "Agricultural Ontology Service" e AGROVOC que é um dos principais vocabulários agrícolas desenvolvido pela FAO, esta ontologia terá a finalidade de fornecer uma base conceitual e tecnológica para suportar o processo de avaliação da sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

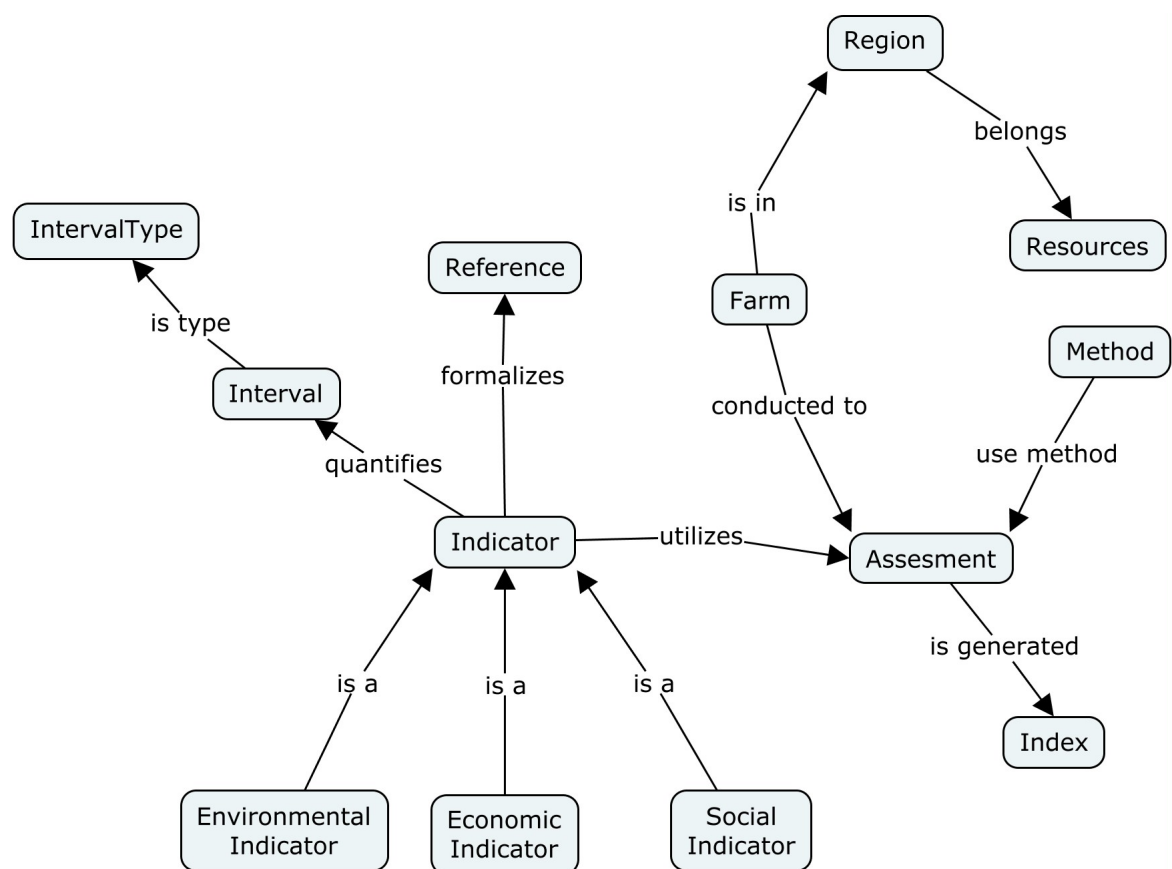
O desenvolvimento da ontologia ocorrerá de forma ágil por meio de técnicas de prototipação rápida que serão de âmbito e complexidade crescente, abrangendo grupos de conceitos relacionados entre si, com a finalidade de modularizar o desenvolvimento dela.

O desenvolvimento da ontologia depende essencialmente da comunicação entre os especialistas e os modeladores, pelo qual definiram-se meios de comunicação e representação do conhecimento, os meios de comunicação são as reuniões presenciais e virtuais, e o meio de representação são 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, os modeladores em tecnologias da web semântica representarão esse modelo no padrão OWL e definirão instâncias para cada uma das classes, depois disso o especialista do domínio construirá uma pergunta e o sistema deve gerar os resultados esperados, logo segue uma fase de validação e ajustes, que deve-se finalizar com um protótipo confiável que represente cada um dos setores da ontologia, repetindo o processo até ter todos os elementos de interesse e a integridade requerida.

Uma das contribuições da ontologia é que ao conceder significado semântico aos sistemas especialistas, eles poderão fazer uma representação semântica do conhecimento de domínio tanto para os usuários como para os computadores, conseguindo desta maneira uma comunicação e o uso do sistema de mais alto nível em comparação com os sistemas especialistas que não tem suporte semântico, fornecendo serviços especializados como as consultas complexas com semântica, a Figura 2 é um primeiro esboço dos elementos que serão contidos na ontologia.

Figura 2 – Primeiro esboço do mapa conceitual



Nesta primeira aproximação é identificado o conceito fundamental da ontologia, os “indicadores”, que representam e quantificam os aspectos críticos do sistema produtivo de cana-de-açúcar, mediante o uso dos “limiares” que estabelecem o intervalo dos indicadores, que são

instanciados com os valores “Mais sustentável” ou “Menos sustentável”.

Outro conceito fundamental é “avaliação” que é composta de um conjunto de “indicadores” e de um “método” o qual é aplicado sobre uma “fazenda” ou “usina”, a avaliação gerará “índices” que são apresentados junto às “recomendações” como resultado do processo de avaliação.

### 4.1.2 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 Parliament<sup>1</sup> porque fornece as características "Native SPARQL support", "Native SPARQL/Update support" e "Native SPARQL Protocol Endpoint" o qual padroniza o armazenamento e recuperação da informação, e a compatibilidade com os sistemas web por meio do Endpoint.

## 4.2 Ontologia de interface gráfica

Será desenvolvida uma ontologia de interface gráfica focada na definição e modificação de controles de usuário, para que os usuários administradores possam definir os elementos visuais para cada conceito do domínio de sustentabilidade.

Um exemplo do uso desta ontologia é nos indicadores os quais armazenaram um valor inserido pelo usuário, o qual pode ser de diversos tipos como numérico contínuo, numérico discreto, percentagem, booleano, lista de termos ou alfanumérico, dada esta diversidade é importante representar cada uma das características específicas dos conceitos e das tecnologias dos controles de usuário para fazer um mapeamento que suporte o desenho personalizado da interface gráfica.

## 4.3 DSL de interfaces

A linguagem específica do domínio permitirá que os usuários administradores definam a interface gráfica em uma linguagem de alto nível, esta DSL está baseada nas duas ontologias base e permitira definir e administrar os seguintes elementos conceituais:

- Indicadores
- Componentes dos indicadores
- Limiares

---

<sup>1</sup> <http://parliament.semwebcentral.org/>



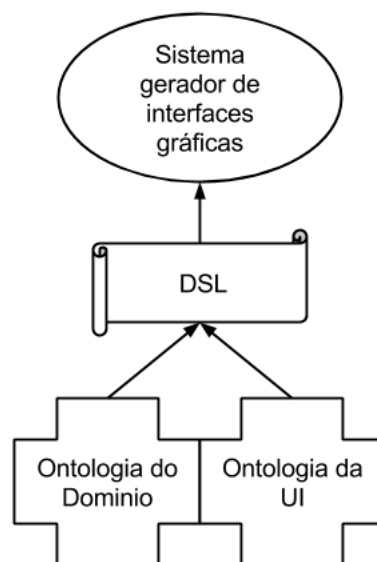
- Métodos
- Avaliações
- Índices

Cada um dos elementos da DSL terão uma interface gráfica predefinida tipo contenedor e por meio da DSL poderão-se parametrizar as características propias dos controles de usuário segundo o criterio dos administradores, cada uma das ações dos administradores serão mapeados na ontologia para permitir a modificação dela, fornecendo a funcionalidade de definição e modificação dos controles.

## 4.4 Sistema gerador de interfaces gráficas

O sistema gerador de interfaces é uma camada adicional ao processo de definição da interface gráfica a qual manipula a DSL que está suportada pelas ontologias, na Figura 3 é apresentada a arquitetura onde o sistema gerador de interfaces fornece umas funcionalidades visuais de definição da interface que esta suportada pela DSL, isto com a finalidade de conceder usabilidade e flexibilidade ao sistema.

Figura 3 – Processo de geração de interfaces graficas



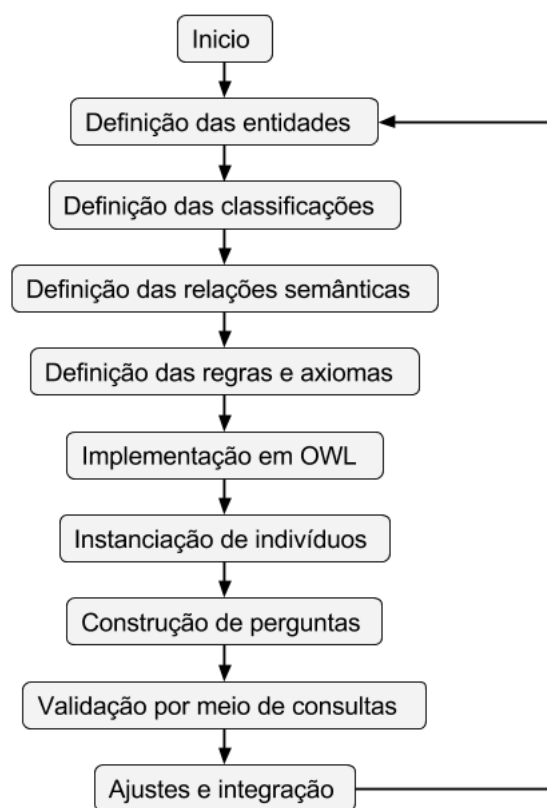
## 4.5 Metodologia

A arquitetura de SustenAgro pode ser dividida em dois áreas principais: a representação ontológica e o sistema web que irá coordenar o processo de avaliação da sustentabilidade em sistemas agrícolas.

O conhecimento envolvido em Sustenagro está em contínua construção, no qual é preciso um enfoque de desenvolvimento ágil tanto no software como nos conceitos do domínio para permitir mudanças no sistema sem afetar a funcionalidade do mesmo, por isso foi selecionada a tecnologia de OWL que permite a continua definição tanto da estrutura da informação como das instâncias.

Na Figura 4 é apresentada a proposta metodológica que guiará o desenvolvimento da ontologia de avaliação da sustentabilidade no sistema produtivo de cana-de-açúcar e a ontologia de representação de controles de usuário, mas pode mudar porque é uma metodologia cíclica:

Figura 4 – Metodologia de definição das ontologias



Depois de definir as ontologias, se desenhará a DSL para suportar as principais funcionalidades por parte do usuário administrador, as quais consistem em definir os controles de usuário da interface gráfica segundo o tipo de dado que requeira cada indicador, desta forma será possível adaptar a interface à natureza dos dados do domínio.

A partir da DSL pode-se suportar um sistema gerador de interfaces gráficas para facilitar a usabilidade e flexibilidade do sistema, esta ultima característica constitui uma nova proposta de desenvolvimento de sistemas especialistas que permitam uma adaptação às mudanças dos conceitos do domínio.

O desenvolvimento do sistema web será realizado por meio de metodologias ágeis de desenvolvimento de software, principalmente vão ser utilizadas praticas da metodologia SCRUM (SCHWABER; BEEDLE, 2002).

## 4.6 Resultados esperados

- A ontologia de SustenAgro que será a base conceitual e tecnológica de todo o sistema e integrará o conhecimento da sustentabilidade e do sistema produtivo de cana-de-açúcar.
- DSL de SustenAgro que flexibilizará a definição da interface de usuário por parte dos administradores do sistema.
- Sistema especialista integrado com as tecnologias da Web Semantica, para permitir a realização de consultas complexas que requerem conhecimento semântico e que isto facilita o processo de análises da informação por parte dos usuários.
- Arquitetura para sistemas de avaliação baseados em conhecimento de domínios específicos.

## 4.7 Desenvolvimento

### 4.7.1 Ontologia de SustenAgro

O desenvolvimento da ontologia iniciou com a criação de um mapa conceitual com um grupo de especialistas em modelagem de conhecimento, na reunião da equipe foram identificados os principais conceitos em cada uma das dimensões da sustentabilidade, as quais são dimensão ambiental, social e econômica.

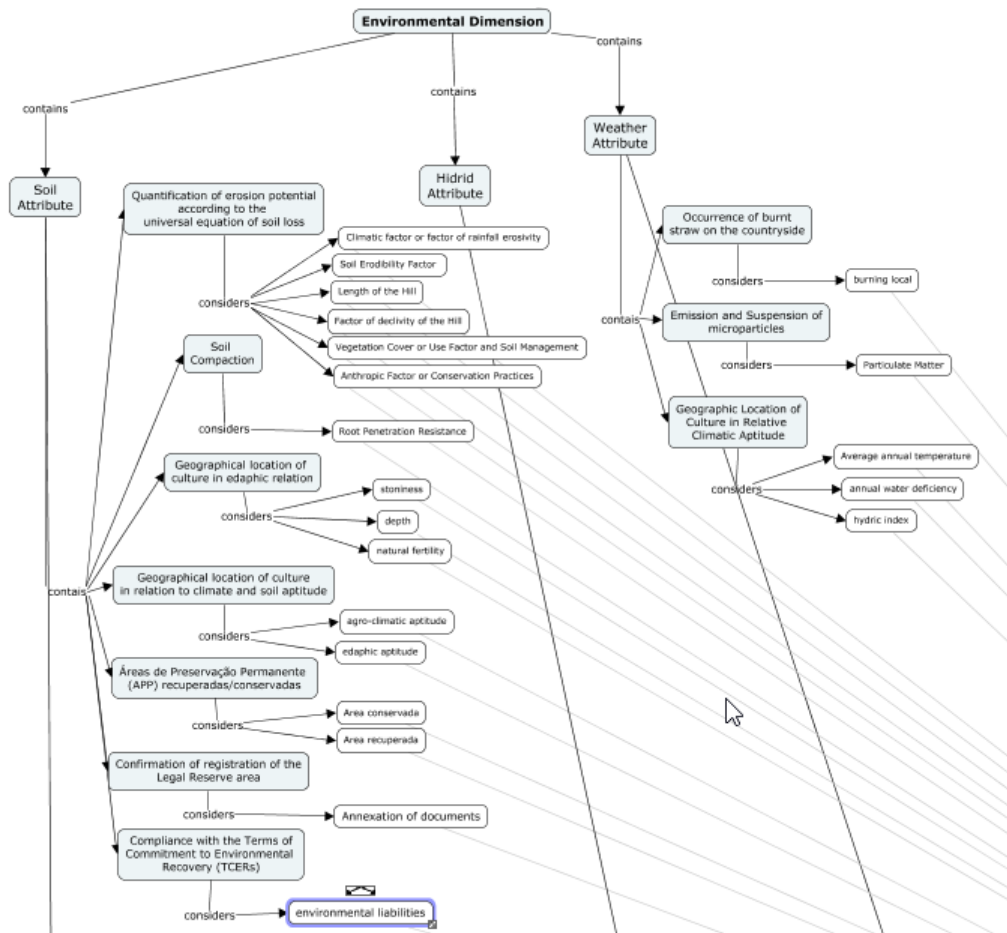
Cada uma das dimensões fazem a função de *containers*, em elas estão contidos os indicadores que foram validados como os mais relevantes para as condições gerais das fazendas e usinas produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, os indicadores têm uma relação de *contains* com os atributos e uma relação de *considers* com os componentes dos indicadores.

As três dimensões da sustentabilidade têm uma participação equitativa no método de avaliação (KRAINES; GUO, 2011).

Na Figura 5 representa a dimensão ambiental, modelo onde são definidos os seguintes conceitos:

- Atributo solo: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos do solo em um sistema de produção agrícola.
- Atributo hídrico: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos das fontes hídricas em um sistema de produção agrícola.

Figura 5 – Mapa conceitual - Ambiental



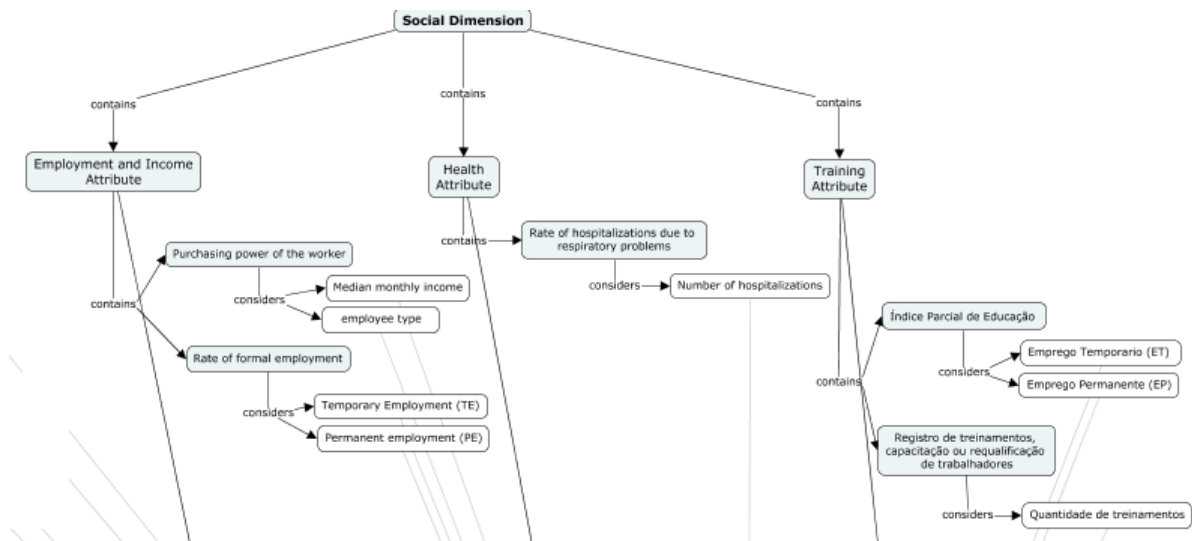
- Atributo clima: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos do clima em um sistema de produção agrícola.

Neste setor da ontologia não foi possível identificar indicadores de tipo hídrico porque não existe consenso entre os especialistas consultados sobre quais são os aspectos mais relevantes para a avaliação da sustentabilidade, mas é um aspecto fundamental para trabalhar nas próximas pesquisas.

Na Figura 6 representa a dimensão social, modelo onde são definidos os seguintes conceitos:

- Atributo emprego e renda: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos do emprego e a renda das pessoas envolvidas em um sistema de produção agrícola.
- Atributo saúde: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos da saúde das pessoas envolvidas em um sistema de produção agrícola.

Figura 6 – Mapa conceitual - Social



- Atributo treinamento: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos do treinamento das pessoas envolvidas em um sistema de produção agrícola.

Neste setor da ontologia é importante reconhecer que as unidades produtivas, já sejam tipo fazendas ou usinas estão compostas por pessoas tanto internamente como externamente, pelo qual é importante refinar os indicadores para incluir a população externa à unidade produtiva que é afetada pelas praticas produtivas.

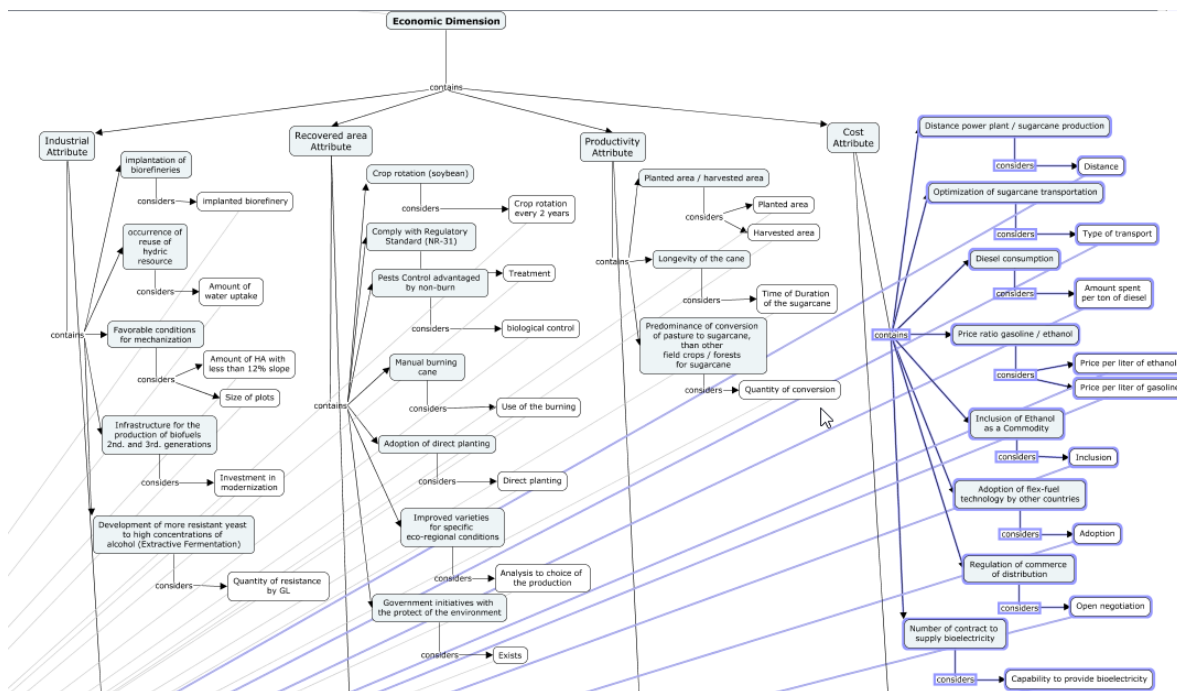
Na Figura 7 representa-se a dimensão econômica onde foram definidos os seguintes conceitos:

- Atributo industrial: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos da indústria envolvidas em um sistema de produção agrícola.
- Atributo área recuperada: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos da área produtiva e as técnicas produtivas em um sistema de produção agrícola.
- Atributo produtividade: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos dos produtos e os processos produtivos em um sistema de produção agrícola.
- Atributo custo: é um *container* dos indicadores que avaliam os aspectos críticos do custo das produções em um sistema de produção agrícola.

Cada uma das tres dimensões devem avaliarse equitativamente para gerar um resultado coerente com a teoria da sustentabilidade.

Na Figura 8 representa-se os conceitos que fazem a união das dimensões e representam conceitos do metodo de avaliação:

Figura 7 – Mapa conceitual - Econômica



Cada um dos conceitos relacionados com o método de avaliação são os que utilizam os indicadores para realizar o processo de avaliação, a intenção é representar o mais detalhado e claro possível o processo de avaliação para a correta execução dele.

#### 4.7.2 Protótipo da interface grafica de SustenAgro

O primeiro protótipo grafico está publicado nos servidores do laboratório Intermídia do ICMC USP<sup>2</sup>, na Figura 9 é apresentada a página inicial do protótipo

Nesta tela pode-se observar o texto explicativo da ferramenta e as abas de “início”, “ferramenta” e “contato”, o menu de ferramenta permite iniciar o processo de avaliação da sustentabilidade.

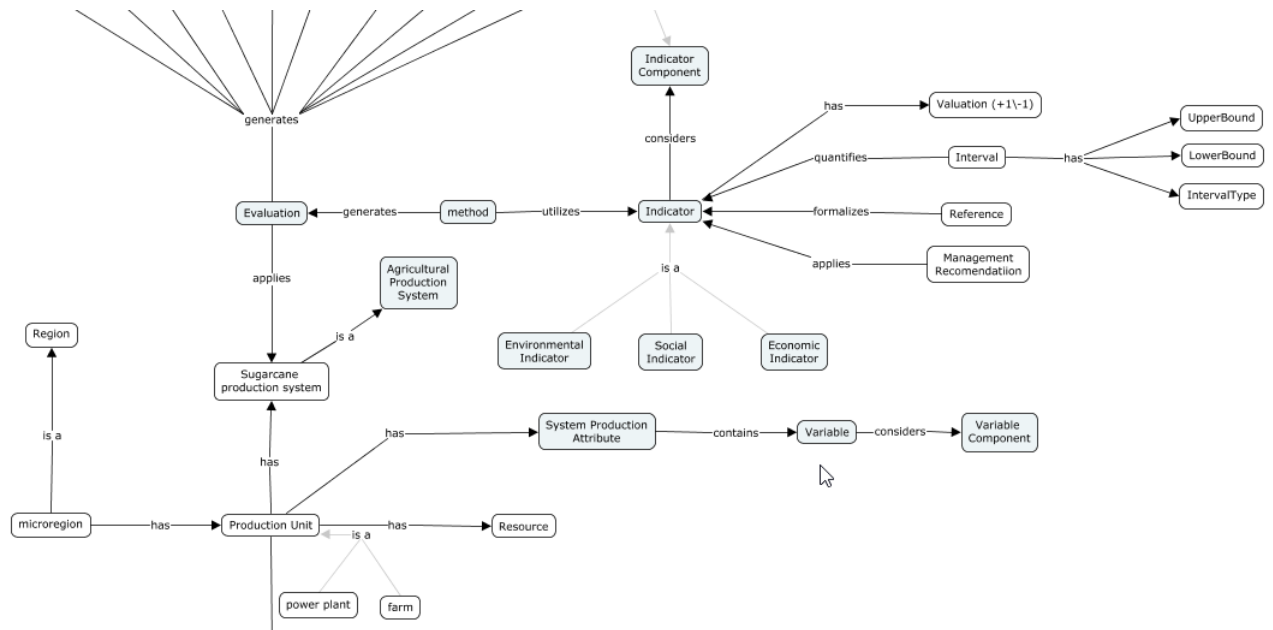
Na Figura 10 é apresentada a página dos indicadores do protótipo, onde se descreve o processo de avaliação que começa com uma descrição base do processo, a localização geográfica da unidade produtiva, a caracterização dela, os indicadores e as recomendações que o sistema vai gerar.

### 4.8 Cronograma de atividades

A seguir, são descritas as principais atividades previstas a serem realizadas para o desenvolvimento deste trabalho, visando cumprir os objetivos e tendo como referência a metodologia

<sup>2</sup> <http://biomac.icmc.usp.br:8080/sustenagro/>

Figura 8 – Mapa conceitual - Método



proposta. A duração de cada uma das atividades está descrita no cronograma apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Cronograma de atividades

Atividades	2014						2015					2016	
	Fev	Mar/Abr	Mai/Jun	Jul/Ago	Set/Out	Nov/Dez	Jan/Fev	Mar/Abr	Mai/Jun	Jul/Ago	Set/Out	Nov/Dez	Jan/Fev
1. Pesquisa Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2. Obtenção de créditos	■	■	■	■	■	■							
3. Exame de proficiência em inglês		■											
4. Redação da monografia de qualificação				■	■	■	■						
5. Exame de qualificação							■						
6. Desenvolvimento da metodologia				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
7. Realização de testes com usuários reais										■	■	■	
8. Apresentação dos resultados e conclusões								■	■	■	■	■	■
9. Defesa da dissertação													■

## 4.9 Considerações finais

O desenvolvimento de Sustenagro satisfaz uma necessidade presente na unidade da Embrapa Meio Ambiente: um sistema de avaliação da sustentabilidade em sistemas produtivos de cana-de-açúcar, este sistema permitira adquirir dados do estado atual da sustentabilidade nas fazendas e usinas e assim formular políticas publicas para promover praticas produtivas

Figura 9 – Protótipo de SustenAgro - Home



responsáveis com o meio ambiente, a sociedade e a economia existente na produção de cana-de-açúcar.

Além de satisfazer uma necessidade institucional, SustenAgro se consolida como uma proposta de sistema especialista baseado em conhecimento e vinculado com as técnicas da web semântica, processo que requer um trabalho de pesquisa e de inovação tecnológica, a pesquisa estará fundamentada na construção deste tipo de sistemas mantendo a usabilidade e flexibilidade os aspectos mais relevantes desde a engenharia do software.

Após do desenvolvimento de SustenAgro pode-se analisar as características fundamentais deste tipo de sistema para propor uma arquitetura que permita a geração de sistemas de avaliação em outros domínios do conhecimento.



Figura 10 – Protótipo de SustenAgro - Indicadores

**SustenAgro** Início Ferramenta Contato Iniciar sessão Cadastre-se

Descrição 1. Localização 2. Caracterização 3. Indicadores 4. Recomendações

**Indicadores!** Por favor preencher as três dimensões dos indicadores, ambiental, econômica e social.

Ambientais Econômicos Sociais

# 1

**Nome** Quantidade de vinhaça/área aplicada com relação ao Potássio (K) e Nitrogênio (N)

**Descrição** A concentração máxima de potássio no solo não poderá exceder 5% da Capacidade de Troca Catiónica – CTC. Quando esse limite for atingido, a aplicação de vinhaça ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura, que é de 185 kg de K<sub>2</sub>O por hectare por corte (PIRES; FERREIRA, 2008). Quanto aos nutrientes extraídos (requeridos) pela cultura de cana-de-açúcar, o nitrogênio é o mais importante. No plantio da cana é necessário aplicar 30 kg/ha de nitrogênio; já na adubação da cana-soca, a quantidade recomendada para a cultura é de 60 kg/ha (SOUZA; LOBATO, 2004).

**Valor**

**Unidades** vinhaça/área

<< 1 2 3 4 5 >>

Cadastrar novo indicador

**Nome**

**Descrição**

**Valor**

**Unidades**

Cadastrar

Seguinte

**Embrapa** **ICMC-USP** **UFveterinária**



## REFERÊNCIAS

---

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. [S.l.]: FGV editora, 2005. Citado na página 17.

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 25.

BRANDÃO, A. A. F.; LUCENA, C. J. P. de. **Uma Introdução à engenharia de ontologias no contexto da web semântica**. [S.l.]: PUC, 2002. Citado na página 21.

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 24.

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 17.

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 2 vezes nas páginas 14 e 22.

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 23.

GRUBER, T. R. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? **International journal of human-computer studies**, Elsevier, v. 43, n. 5, p. 907–928, 1995. Citado na página 21.

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 23.

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 2 vezes nas páginas 24 e 33.

LIANG, A. *et al.* From agrovoc to the agricultural ontology service / concept server: An owl model for creating ontologies in the agricultural domain. **International Conference on Dublin Core and Metadata Applications**, v. 0, n. 0, 2006. ISSN 1939-1366. Disponível em: <http://dcpapers.dublincore.org/pubs/article/view/841>. Citado na página 25.

- 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 21.
- 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 2 vezes nas páginas 13 e 24.
- ROUSSEY, C. *et al.* Ontologies in agriculture. In: **AgEng 2010, International Conference on Agricultural Engineering**. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 25.
- RUSHER, J. Triple store. In: **Workshop on Semantic Web Storage and Retrieval-Position Paper**. [S.l.: s.n.], 2003. Citado na página 30.
- SCHWABER, K.; BEEDLE, M. *gilè software development with scrum*. 2002. Citado na página 33.
- SIMON, H. A. **The architecture of complexity**. [S.l.]: Springer, 1991. Citado na página 13.
- 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](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19652004000100016&nrm=iso)>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- TILMAN, D. *et al.* Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 418, n. 6898, p. 671–677, 2002. Citado na página 23.
- 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 24.