



Universidade de Brasília

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

ADRIANO JOSÉ BARBOSA SOUZA

**Enriquecimento semântico de modelos ecológicos baseados em
Raciocínio Qualitativo: um estudo de caso sobre a dinâmica de
comunidades de vegetação lenhosa no Cerrado Brasileiro**

BRASÍLIA - DF

2015

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO DE MODELOS ECOLÓGICOS
BASEADOS EM RACIOCÍNIO QUALITATIVO: UM ESTUDO DE
CASO SOBRE A DINÂMICA DE COMUNIDADES DE VEGETAÇÃO
LENHOSA NO CERRADO BRASILEIRO**

ADRIANO JOSÉ BARBOSA SOUZA

Orientador: Paulo Sérgio Bretas de Almeida Salles

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ecologia.

BRASÍLIA - DF

2015

Tese de doutorado
ADRIANO JOSÉ BARBOSA SOUZA

Título:

“Enriquecimento semântico de modelos ecológicos baseados em Raciocínio qualitativo:
um estudo de caso sobre a dinâmica de comunidades de vegetação lenhosa no Cerrado
Brasileiro”.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Sérgio Bretas de Almeida
Salles
Presidente / Orientador
Necbio/UnB

Prof. Dr. Oscar Corcho
Membro Titular Externo
Universidad Politécnica de Madrid

Prof. Dr. Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa
Membro Titular Externo
Universidade de São Paulo / Escola
Politécnica

Prof. Dr. Emerson Monteiro Vieira
Membro Titular Interno
ECL/UnB

Prof. Dr. Carlos Hiroo Saito
Membro Titular Interno
UnB

Prof. Dr. Ricardo Bomfim Machado
Suplente
ECL/UnB

Agradecimentos

À minha família, que sempre me apoiou em todos os passos da minha vida e da minha formação profissional.

A todos os amigos que me acompanharam durante essa caminhada, que muito me apoiaram nos momentos de dúvidas e me ajudaram na realização deste trabalho, e ao lado dos quais tive muitos bons momentos e alegrias.

Ao Prof. Paulo Salles pela sua amizade, cordialidade, dedicação, paciência, e busca incansável pela excelência e qualidade do trabalho.

A Emilia P. Braga, com quem pude contar em todas as horas. Obrigado por sua inestimável amizade, seu apoio, incentivo, com sua coragem e ousadia para solucionar as pequenas e grandes dificuldades.

Aos professores do Departamento de Ecologia da UnB, que muito contribuíram para os conhecimentos que adquiri e que muito me inspiraram.

Aos colegas e professores do NECBio, pela amizade, cordialidade e inspiração.

Aos colegas do Projeto DynaLearn, em especial a Isabella Gontijo, Gustavo Leite, Pedro Assunção, Fernando Goulart, Bert Bredeweg, Jochem Liem, Esther Lozano, Jorge Gracia, Richard Noble, Petya Borisova e Andreas Zitek e ao 7th Framework Program da Comissão das Comunidades Europeias, projeto essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Ontology Engineering Group do Departamento de Inteligencia Artificial da Universidad Politécnica de Madrid, em especial ao Prof. Oscar Corcho, à Profa. Asunción Gomez-Perez, e os colegas Francisco Siles Rodríguez, Luis Manuel Vilches Blázquez, María Poveda Villalón e Miguel Angel Garcia Delgado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos durante meu Doutorado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), com a qual pude complementar os estudos em Madri e desenvolver parte desta Tese de Doutorado.

A todas as pessoas que me ajudaram para a realização deste trabalho, seja com sua experiência e conhecimentos científicos ou com gestos de amizade.

RESUMO

O uso de modelos tem se tornado cada vez mais frequente, principalmente nos estudos científicos, mas também na sociedade em geral, como importante ferramenta de planejamento e análise de cenários, entre outros objetivos. No entanto, as estruturas utilizadas na modelagem não incorporam significados e conteúdos. Tais limitações levaram ao desenvolvimento de ferramentas que permitem aos modeladores explorar relações semânticas nos modelos. Ontologias e outras tecnologias semânticas estão progressivamente sendo utilizadas para apoiar as atividades de modelagem de sistemas naturais e para aprimorar seu rigor e consistência. O presente trabalho tem o objetivo enriquecer semanticamente modelos de Raciocínio qualitativo no domínio da Ecologia do Cerrado. Com isso, buscamos relacionar dados de comunidades de plantas lenhosas do Cerrado brasileiro obtidos de estudos científicos, de meteorologia, de variáveis ambientais, informações geográficas (mapas) e modelos conceituais baseados em Raciocínio Qualitativo. Duas ontologias de domínio de conhecimentos, *Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Ontology* (Ccon) e *Fire Ontology* (Fire), foram desenvolvidas para representar conhecimentos científicos sobre a ecologia da vegetação do Cerrado, com foco em aspectos dinâmicos sob diferentes regimes de queima. Conjuntos de dados foram transformados para o formato RDF (*Resource Description Framework*) usando LOD Refine (*Linked Open Data Refine*). Além disso, foram construídos modelos qualitativos para representar a estrutura e dinâmica de comunidades de plantas do Cerrado que exploram a hipótese de desequilíbrio na coexistência de árvores e gramíneas nesse bioma. Os modelos evidenciam o papel do fogo e de relações de competição por recursos entre o estrato arbóreo e o rasteiro, que permitem sua coexistência em ambientes de *Cerrado sensu stricto*. Foram criadas ligações geográficas entre a ocorrência de espécies e variáveis ambientais com modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativo, que podem ser usados para simulações e no suporte a predições e explicações no comportamento de comunidades específicas de plantas lenhosas do Cerrado. Trabalho em andamento busca validar os modelos qualitativos, aperfeiçoar e construir ontologias, ampliar as bases de dados e explorar diferentes hipóteses sobre a estrutura e o funcionamento de comunidades de Cerrado.

Palavras-chave: Semântica, ontologias de sistemas naturais, dados Geoligados, Modelos de Raciocínio qualitativo, Cerrado brasileiro.

ABSTRACT

The use of models has become increasingly common, especially in scientific studies, but also in society in general as an important planning tool and scenario analysis among other objectives. However, the structures used in the modeling do not incorporate meanings and contents. These limitations led to the development of tools that allow modelers to explore semantic relations in the models. Ontologies and other semantic technologies are increasingly being used to support the modeling systems natural activities and to enhance its accuracy and consistency. The present work aims to semantically enrich models based on Qualitative Reasoning in the area of Cerrado Ecology. Thus, we seek to relate data bases of woody plants in the Brazilian Cerrado communities obtained from scientific studies, meteorology, environmental variables, geographic information (maps) and conceptual models of Qualitative Reasoning. Two domain ontologies, *Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Ontology* (CCON) and *Fire Ontology* (Fire), were developed to represent scientific knowledge about the Cerrado vegetation ecology focusing on dynamic aspects under different fire regimes. Data sets, made available by agencies and institutions of the Brazilian government, and the data obtained from the scientific literature were transformed to RDF (*Resource Framework Description*) format using LOD Refine (*Linked Open Data Refine*). Moreover, qualitative models were developed to represent the structure en dynamics of Cerrado vegetation communities which the disequilibrium hypothesis of tree-grass coexistence in that biome is exploited. The models highlight the role of fire and competition relationships over resources between wood and grass layers, that allows their coexistence in Cerrado *sensu stricto* environments. Geographical links have been established between the occurrence of species and environmental variables with qualitative reasoning ecological models, that can be used for simulations and support predictions and explanations in the behavior of specific communities of woody plants of the Cerrado. Ongoing work aims at validation of qualitative models, improvement of the current and construction of new ontologies, expansion of databases to explore different hypotheses about the structure and functioning of Cerrado communities.

Keywords: Semantics; Metadata and Ontologies of Natural Systems; Geolinked data; Qualitative Reasoning Models; Brazilian Cerrado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XII
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVO GERAL.....	16
2.1. <i>Objetivos específicos</i>	16
3. PROBLEMA DE PESQUISA	17
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
4.1. <i>Modelos conceituais qualitativos</i>	19
4.2. <i>Tecnologia semântica</i>	21
4.3. <i>O Cerrado brasileiro</i>	24
5. MATERIAIS E MÉTODOS	27
5.1. <i>Desenvolvimento e definição de modelos adequados aos problemas do Cerrado</i>	27
5.1.1. <i>Objetivos Específicos:</i>	27
5.1.2. <i>Questões a serem abordadas pelos modelos</i>	27
5.2. <i>Construção dos modelos</i>	28
5.2.1. <i>Detalhes da implementação</i>	29
5.3. <i>Desenvolvimento das ontologias</i>	30
5.3.1. <i>Detalhes da implementação</i>	30
5.3.2. <i>Documento de especificação de requisitos de ontologia (ORSD - Ontology Requirements Specification Document)</i>	31
5.4. <i>Identificação de fontes de dados</i>	39
5.5. <i>Ligações entre modelos e dados numéricos</i>	39
5.6. <i>Delineamento das URI's</i>	39
5.7. <i>Ligação entre os conjuntos de dados e a publicação</i>	40
5.8. <i>Implementação do protótipo</i>	40
6. RESULTADOS	42
6.1. <i>Os modelos em DynaLearn</i>	42

6.1.1. Modelos do Dynalearn usados nas escolas: o papel dos modelos na comunicação de conceitos de ecologia.....	42
6.2. <i>Visão geral do modelo ontológico</i>	47
6.2.1. As ontologias de domínio.....	50
6.3. <i>Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Ontology (Ccon)</i>	50
6.4. <i>Fire Ontology (Fire)</i>	51
6.5. <i>Avaliação de ontologias</i>	52
6.5.1. Avaliação com OOPS!	53
6.5.2. Avaliação por especialistas no domínio de conhecimento	53
6.6. <i>Exploração do protótipo usando MAP4RDF</i>	58
7. DISCUSSÃO	61
8. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A	74
9. CCON ONTOLOGY	74
9.1. <i>Table of Contents</i>	74
9.2. <i>Introduction</i>	74
9.3. <i>Namespace declarations</i>	74
9.4. <i>Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Overview</i>	74
9.5. <i>Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Description</i>	74
9.6. <i>Cross reference for Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics classes, properties and dataproperties</i>	74
9.7. <i>Classes</i>	75
9.8. <i>Object Properties</i>	75
9.9. <i>References</i>	75
9.10. <i>Acknowledgements</i>	75
9.11. <i>Introduction</i>	75
9.12. <i>Namespace declarations</i>	75
9.13. <i>Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Overview</i>	76
9.14. <i>Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Description</i>	76
9.14.1. <i>Classes</i>	77
9.14.2. <i>Properties</i>	80

9.14.3. Cross reference for Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics classes and properties	81
9.15. <i>References</i>	122
9.16. <i>Acknowledgements</i>	123
APÊNDICE B	124
10. FIRE ONTOLOGY	124
10.1. <i>Table of Contents</i>	124
10.1.1. Introduction	124
10.1.2. Namespace declarations	124
10.1.3. Fire Ontology Overview	124
10.1.4. Fire Ontology Description	124
10.1.5. Cross reference for Fire Ontology classes, properties and dataproperties.....	124
10.1.6. Classes	125
10.1.7. Object Properties	125
10.1.8. References	125
10.1.9. Acknowledgements	125
10.2. <i>Introduction</i>	125
10.3. <i>Namespace declarations</i>	125
10.4. <i>Fire Ontology Overview</i>	126
10.5. <i>Fire Ontology Description</i>	126
10.6. <i>Classes</i>	127
10.7. <i>Properties</i>	129
10.8. <i>Cross reference for Fire Ontology classes and properties</i>	129
10.8.1. Classes	129
10.8.2. Object Properties	145
10.9. <i>References</i>	150
10.10. <i>Acknowledgements</i>	150
APÊNDICE C	151
APÊNDICE D	159
APÊNDICE E	170
APÊNDICE F	178

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MODELO DE CICLO DE VIDA DE DESENVOLVIMENTO DE REDE DE ONTOLOGIAS.	37
FIGURA 2. MODELO DE DINÂMICA DE VEGETAÇÃO DO CERRADO NO NÍVEL DE APRENDIZADO 4 (LS4), CONSTRUÍDO COM O PROGRAMA DYNALEARN.	45
FIGURA 3. DIAGRAMA DE HISTÓRIA DE VALORES DA SIMULAÇÃO DO MODELO QUALITATIVO DE DINÂMICA DE COMUNIDADE DE PLANTAS DO CERRADO CONSTRUÍDO NO NÍVEL DE APRENDIZADO 4 (LS4) NO DYNALEARN.	46
FIGURA 4. VISÃO GERAL DO MODELO ONTOLÓGICO.	47
FIGURA 5. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ALGUMAS CLASSES E PROPRIEDADES DE OBJETOS DA ONTOLOGIA CCON. AS FISIONOMIAS SÃO REPRESENTADAS EM CINZA.	51
FIGURA 6. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE ALGUMAS CLASSES E PROPRIEDADES DE OBJETOS DA ONTOLOGIA DO FOGO (<i>FIRE ONTOLOGY</i>).	52
FIGURA 7. QUANTIDADE DE FALHAS POR IMPORTÂNCIA E POR TIPO, ENCONTRADAS EM CADA VERSÃO DA ONTOLOGIA CCON USANDO OOPS!	54
FIGURA 8. QUANTIDADE DE FALHAS POR IMPORTÂNCIA E POR TIPO, ENCONTRADAS EM CADA VERSÃO DA ONTOLOGIA <i>FIRE</i> USANDO OOPS!	54
FIGURA 9. QUÃO APROPRIADOS SÃO OS CONCEITOS USADOS NESTA ONTOLOGIA (CCOM)?	55
FIGURA 10. QUÃO APROPRIADAS SÃO AS RELAÇÕES ENTRE OS CONCEITOS, NESTA ONTOLOGIA (CCON)?	55
FIGURA 11. OS TERMOS E CONCEITOS USADOS SÃO SUFICIENTES PARA DESCREVER A DINÂMICA DE COMUNIDADES DE PLANTAS DO CERRADO?	56
FIGURA 12. A ONTOLOGIA REPRESENTA CORRETAMENTE CONCEITOS QUE DESCREVEM AS CARACTERÍSTICAS DE UM EVENTO DE FOGO.	57
FIGURA 13. QUÃO APROPRIADOS SÃO OS CONCEITOS USADOS NA ONTOLOGIA?	57
FIGURA 14. QUÃO APROPRIADAS SÃO AS RELAÇÕES ENTRE OS CONCEITOS, NESTA ONTOLOGIA (<i>FIRE</i>)?	57
FIGURA 15. OS TERMOS E CONCEITOS USADOS SÃO SUFICIENTES PARA DESCREVER OCORRÊNCIA DE FOGO NO CERRADO?	58
FIGURA 16. ILUSTRAÇÃO DE COMO AS LIGAÇÕES "OWL: SAMEAS" GERADAS ENTRE OS CONJUNTOS DE DADOS E UM MODELO, NESTE CASO, A VARIÁVEL "NÚMERO DE INDIVÍDUOS" É ENCONTRADA NO "CONJUNTO DE DADOS DE VEGETAÇÃO" E COMO UMA QUANTIDADE NO MODELO. ALÉM DISSO, A VARIÁVEL "PRECIPITAÇÃO" ENCONTRADA NO "CONJUNTO DE DADOS METEOROLÓGICOS" TAMBÉM É ENCONTRADO COMO UMA QUANTIDADE NO MODELO. POR OUTRO LADO, ESTE MODELO NÃO TEM LIGAÇÕES "OWL: SAMEAS" COM " CONJUNTO DE DADOS DE	

OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO", POR CAUSA DA FALTA DE VARIÁVEIS COMUNS ENTRE ELES.....	60
FIGURA 17. LINKS "OWL: SAMEAS" GERADOS ENTRE O MODELO "UNDERGROUND ÁGUA E FOGO RISCO VEG DYN" E CONJUNTOS DE DADOS. NÃO HÁ LIGAÇÕES COM DADOS METEOROLÓGICOS E A VARIÁVEL ÁGUA SUBTERRÂNEA NÃO TEM CORRESPONDÊNCIA COM QUALQUER CONJUNTO DE DADOS.....	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. FORMULÁRIO DESCRITIVO DE ATIVIDADE DE ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS (SUÁREZ-FIGUEROA, 2010).....	32
TABELA 2. QUESTÕES DE COMPETÊNCIA.....	34
TABELA 3. CONJUNTO DE DADOS USADOS, SUA ORIGEM E FORMATO ORIGINAL.	40
TABELA 4. ENTIDADES, QUANTIDADES E ESPAÇOS QUANTITATIVOS CONTIDOS NO MODELO DE DINÂMICA DE VEGETAÇÃO DO CERRADO LS4.....	44
TABELA 5. FATORES AMBIENTAIS INCLUÍDOS EM CADA MODELO.....	58

1. INTRODUÇÃO

Muitos conhecimentos ecológicos são qualitativos e difusos, expressos verbalmente e esquematicamente (Rykiel, 1989; Salles and Bredeweg, 2003a). Assim, os formalismos desenvolvidos no campo do Raciocínio Qualitativo (RQ) (ex. Forbus, 1984) podem ser considerados importantes candidatos para formar a base para ferramentas de modelagem conceitual para serem usados, por exemplo, no domínio da ecologia. Para modelos conceituais baseados em RQ, as quantidades que descrevem as características dinâmicas de um sistema apresentam informação qualitativa (Bredeweg *et al.* 2013). Eles também ajudam na proposição de hipóteses e sacrificam detalhes do sistema enquanto enfatizam características genéricas, podem mostrar as consequências daquilo que se acredita ser verdadeiro, e podem ser simulados usando processamento computacional (Grimm, 1994; Nuttle *et al.*, 2009).

Salles and Bredeweg, (2003a) destacam, entre as vantagens dessa abordagem, a possibilidade de derivar conclusões relevantes sobre sistemas ecológicos sem dados numéricos; o uso de técnicas de modelagem composicional (Falkenhainer and Forbus, 1991), que permitem a reusabilidade de partes (fragmentos) de modelos; o uso de um vocabulário rico na representação de elementos, situações, relações e mecanismos de mudança; e a capacidade de permitir a interpretação causal do comportamento de sistemas.

Por outro lado, as abordagens declarativas de modelagem, enquanto aumentam grandemente a legibilidade dos componentes dos modelos, têm majoritariamente focado em aspectos sintáticos ao invés de semânticos: modelos declarativos usam abstrações que são relevantes para o processo de modelagem (tais como “estoques” e “fluxos”), denominando processos diferenciais e entidades ambientais meramente por nomes de variáveis, e continuam incapazes de incorporar qualquer afirmação formal sobre o significado de tais nomes (Villa *et al.* 2009). Tais modelos mostram estruturas gerais, que podem descrever quaisquer relações entre variáveis que tenham um formato determinado. Por exemplo, duas taxas e uma variável de estado mostram fenômenos biológicos (natalidade / mortalidade), ambientais (poluição / despoluição), físicos (dilatação / contração), químicos (síntese / degradação de moléculas), econômicos (produção / consumo), etc., mas são incapazes de mostrar o que eles significam de fato.

O desenvolvimento do software DynaLearn (Bredeweg *et al.*, 2013) (www.DynaLearn.eu) contribuiu para associar significados a estruturas de modelos

ecológicos implementados de acordo com técnicas do Raciocínio qualitativo. Usando esse software, tais modelos podem ser exportados para o formato OWL (*Ontology Web Language*), e usando tecnologia semântica, posteriormente usados para fornecer recomendações baseadas em um repositório de modelos construídos por especialistas para estudantes aprenderem como construir modelos (Bredeweg *et al* 2013). Tanto o *DynaLearn* quanto o software que o antecedeu, *Garp3* (Bredeweg *et al.*, 2007) são programas computacionais que vêm sendo extensivamente utilizados para a modelagem conceitual em pesquisa ecológica (Goulart *et al.*, 2013; Kansou and Bredeweg, 2014; Salles and Bredeweg, 2006).

A pesquisa ecológica e sua aplicação ao manejo e conservação de recursos naturais requer que os cientistas acessem dados de regiões geográficas distintas, disponíveis em diferentes fontes, armazenadas usando tecnologias diferentes (Green *et al* 2005). Além disso, os cientistas também precisam frequentemente integrar e analisar dados, produzir modelos preditivos e explicativos, e eventualmente desenvolver recomendações para políticas públicas (Green *et al* 2005). Villa *et al.* (2009) relataram que uma vez que as atividades de modelagem ecológica e ambiental estão relacionadas com o manejo e representação de conhecimento, as ontologias estão progressivamente sendo utilizadas para apoiar as atividades de modelagem de sistemas naturais e para aprimorar seu rigor e consistência. De acordo com Gruber (1993), uma ontologia é uma especificação explícita de uma conceitualização compartilhada.

No domínio da ecologia, existem poucos trabalhos, desenvolvidos ou em desenvolvimento, sobre esse tema. São exemplos Environmental Ontology (EnvO) (Buttigieg *et al.*, 2013), Landscape Ontology (Lepczyk *et al.*, 2008), Ecological Concepts Ontology (Williams *et al.*, 2006) e Extensible Observational Ontology (OBOE) (Madin *et al* 2007). Entretanto, as ontologias disponíveis atualmente não abordam diretamente conceitos relacionados a ecologia de comunidades. Diante da importância desse tema, o presente trabalho aborda a formalização semântica de conceitos do domínio de ecologia de comunidades e de processos que podem levar a mudanças na sua estrutura e funcionamento ao longo do tempo, os quais não podem ser abordados adequadamente por outras ontologias.

Mais especificamente, o trabalho aqui descrito tem como objetivo o enriquecimento semântico de modelos ecológicos de Raciocínio qualitativo. Para isso, foi proposto o desenvolvimento de um protótipo de sistema baseado em iniciativas de

dados ligados geográficos e estatísticos (Vilches-Blázquez *et al* 2013) para interconectar dados de diferentes fontes de dados com modelos qualitativos.

Para alcançar o objetivo dessa abordagem, algumas etapas foram seguidas:

1. Construir modelos baseados em técnicas de Raciocínio Qualitativo para explicar e prever aspectos da estrutura e o comportamento de comunidades vegetais do Cerrado, inspirados em um estudo de caso.
2. Criar uma ontologia específica do domínio de estrutura e dinâmica de comunidades vegetais para formalizar conceitos relevantes, suas respectivas propriedades e relações entre eles. Uma comunidade de vegetação lenhosa do Cerrado (Souza, 2010) foi usada como estudo de caso para esse trabalho.
3. Transformar em RDF (*Resource Description Framework*) conjuntos de dados ecológicos de comunidades de plantas lenhosas, modelos qualitativos, mapas com informações geográficas e dados meteorológicos.
4. Implementar um Map4RDF, aplicativo Web capaz de acessar os conjuntos de dados ligados e modelos qualitativos, apresentá-los em um navegador da internet, selecionar dados e modelos relevantes de acordo com as preferências e *inputs* do usuário.

A opção pelo uso de modelos qualitativos se deve a quatro razões principais. Primeiramente, modelos qualitativos podem contribuir para a organização de dados heterogêneos, incompletos, expressos qualitativamente, atualmente esparsamente distribuídos, estabelecendo (e representando) relações hipotéticas de causa e efeito entre eles. Segundo, a possibilidade de usar os dados numéricos incompletos disponíveis, e de complementá-los com informações qualitativas, para construir modelos capazes de explicar e fazer previsões sobre o comportamento de comunidades vegetais de Cerrado, contribui para suprir parcialmente a falta de modelos numéricos que apoiem a tomada de decisões sobre conservação de recursos biológicos. Terceiro, modelos conceituais qualitativos podem ser valiosas ferramentas para o planejamento e a construção de modelos quantitativos (Haefner, 2005), o que aumentaria a capacidade preditiva da comunidade científica e de gestores. Finalmente, modelos conceituais qualitativos têm sido reconhecidos como instrumentos valiosos de comunicação e aplicados com sucesso em contextos educacionais (*cf.* os produtos do Projeto DynaLearn, www.dynalearn.eu, por exemplo).

2. OBJETIVO GERAL

Investigar um método para enriquecer modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativos com significados e dados quantitativos.

2.1. Objetivos específicos

- Construir modelos qualitativos sobre a dinâmica e estrutura da comunidade de plantas do Cerrado com o objetivo de contribuir para o entendimento do funcionamento das mudanças naturais e antropogênicas da vegetação do Cerrado e obter recomendações e boas práticas para a conservação;
- Criar ontologias que descrevam a dinâmica de comunidades de plantas lenhosas do Cerrado Brasileiro e que proporcionem capacidades de inferência e Raciocínio sobre os conjuntos de dados do domínio disponíveis;
- Usar essas ontologias para criar ligações entre os modelos e dados numéricos disponíveis na literatura científica e informações geoespaciais de modo a produzir modelos qualitativos enriquecidos semanticamente.

3. PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com Michener *et al.* (2007), o entendimento do mundo natural depende da nossa capacidade de acessar e integrar dados de disciplinas das ciências biológicas, físicas e sociais, fazer a mineração desses dados em busca de novos conhecimentos e transmitir novas descobertas aos tomadores de decisão e ao público em geral.

Para Michener and Jones (2012), para que se possa entender o ambiente e o andamento das mudanças ambientais e ecológicas, há necessidade de novas plataformas computacionais integrativas, de se adotarem protocolos padrões de informática e boas práticas de gestão de dados. Além disso, são essenciais mudanças socioculturais, tais como aquelas que promovem a alfabetização informática, o compartilhamento de dados e a transparência e a reprodutibilidade científica.

De fato, é possível encontrar diferentes abordagens, hipóteses ou explicações para alguns fenômenos, cuja comprovação por meio de experimentação científica seja difícil de ser implementada. Essa situação pode ser ilustrada por um estudo realizado por Wilson (2011), que, em seu trabalho, revisou doze diferentes teorias construídas para explicar a coexistência de árvores e gramíneas em comunidades vegetais. A importância de identificar qual das teorias explica melhor o fenômeno da coexistência é importante, pois tal conhecimento pode contribuir para o manejo adequado de espécies, comunidades e ecossistemas e contribuir para a conservação da biodiversidade em áreas manejadas.

Brilhante (2005) descreve o desenvolvimento de um método para a integração de dados numéricos e modelos conceituais. A autora criou a *Ecolingua*, que pode ser definida como uma ontologia¹ evolutiva específica de domínio que traz uma contribuição para a conceitualização do domínio da ecologia por meio da formalização de propriedades de dados quantitativos que tipicamente alimentam modelos ecológicos de simulação.

Diante desse cenário, o presente trabalho visa desenvolver uma abordagem que combine as vantagens da representação do conhecimento e capacidade simuladora de modelos de Raciocínio qualitativo com conjuntos de dados observacionais encontrados na literatura científica sobre dinâmica, estrutura e fitossociologia de comunidades de vegetação lenhosa do Cerrado brasileiro.

¹ Veja definição em revisão de literatura, página 11

Assim, as questões de pesquisa exploradas no presente trabalho são:

- 1) Como melhorar a capacidade explicativa e preditiva de modelos de Raciocínio qualitativo de comunidades vegetais utilizando dados observacionais reais?
- 2) Como unificar e refinar conceitos no domínio de ecologia de comunidades?
- 3) Como tornar mais precisa e acurada as capacidades explicativa e preditiva de modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativo?

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Modelos conceituais qualitativos

De acordo com Haefner (1996), modelos são formas de representar e compreender o mundo real, e são usados para fazer previsões e tentar compreender o que aconteceu no passado, ou poder controlar algumas variáveis do mundo real para que se possa inferir o comportamento de outras variáveis. Modelos e o processo de modelagem são aspectos fundamentais da ciência, de modo que as ferramentas de modelagem fornecem novas maneiras de testar hipóteses e analisar dados, o que pode contribuir para o desenvolvimento de teorias (Schwarz and White, 2005). A tarefa de construir um modelo é, sobretudo, um importante fator para determinar como conceitualizar e representar um dado sistema (Salles and Bredeweg, 1997). Além disso, Haefner (1996) afirma que um modelo conceitual é quase um requerimento para se construir um modelo quantitativo, pois ele especifica os objetos, suas inter-relações básicas e principais hipóteses.

Salles (1997) e Salles and Bredeweg (2006) desenvolveram modelos qualitativos para uso em ecologia utilizando os princípios e conhecimentos básicos de ecologia de populações, em especial para populações vegetais do Cerrado, incluindo os principais processos que as afetam. Até então, não havia estudos de comunidades baseados em modelagem usando técnicas de Raciocínio qualitativo, capazes de representar cadeias de causalidade que explicam por que as mudanças ocorrem no sistema. Neto (2005) desenvolveu modelos qualitativos capazes de simular as mudanças na estrutura de vegetação e em variáveis relacionadas ao carbono e nitrogênio, especificamente para a fisionomia de campo sujo no Cerrado. Anjos and Salles (2006) produziram um modelo que representava os efeitos da degradação da vegetação ripária em microbacias semi-urbanizadas do *Cerrado*. Outra importante contribuição foi o trabalho de Leão (2011) que desenvolveu um modelo de RQ capaz sintetizar as principais premissas teóricas utilizadas na formulação da teoria de metapopulações, permitindo comparar as principais hipóteses atuais adotadas para explicar o comportamento de metapopulações.

Os cinco estudos citados foram bem-sucedidos em representar o comportamento de sistemas dinâmicos tais como comunidades ecológicas e metapopulações, e na realização de simulações sob diferentes cenários.

O uso de modelos pode contribuir para esclarecer diversos aspectos e aumentar o entendimento da cadeia de raciocínio causal envolvendo fatores ambientais e mudanças em populações e comunidades (Salles and Bredeweg, 2006). Diante da carência de dados numéricos de boa qualidade sobre diversos aspectos fundamentais, em diversas situações, a modelagem qualitativa, proposta para este trabalho, tem se mostrado uma ferramenta capaz de promover melhor entendimento, síntese, organização e aplicação do conhecimento de diferentes aspectos da ecologia de populações e comunidades (Neto, 2005; Pivello and Coutinho, 1996; Salles and Bredeweg, 2006, 2003b; Struss, 1998).

O presente estudo visa dar continuidade ao trabalho iniciado por Henriques and Hay (2002) e Souza (2010) em relação aos aspectos conceituais, por meio de modelos de Raciocínio Qualitativo, na linha iniciada em Salles (1997), aos quais será acrescentado o componente semântico com base em resultados produzidos no Projeto DynaLearn. Com efeito, as principais informações, conceitos, processos, comportamentos observados nos trabalhos de modelagem citados e em outros trabalhos relacionados serão articulados de forma a produzir modelos de simulação, utilizando-se as técnicas de Raciocínio qualitativo, que serão posteriormente tratados com tecnologia semântica.

O uso de modelos ecológicos qualitativos deverá gerar elementos que poderão promover o melhor entendimento dos processos causadores de mudanças na comunidade de vegetação do Cerrado, gerar indicações de como essas mudanças podem alterar a estrutura e a biodiversidade local, e sugestões sobre a forma que os elementos das comunidades vegetais podem ser monitorados. Nesse sentido, os resultados do presente trabalho incluem também aspectos voltados para a educação científica em aspectos da teoria ecológica, e, para fins de conservação, funcionar como ferramentas de previsão e monitoramento da vegetação do bioma Cerrado.

Com isso, pode-se destacar que os principais usuários desses modelos podem ser:

- 1) Estudantes, interessados em se familiarizar com a dinâmica dessas comunidades no Cerrado;
- 2) Pesquisadores, que buscam investigar os processos envolvidos no funcionamento desses sistemas ecológicos;
- 3) Gestores de unidades de conservação, que poderão utilizar os modelos como ferramentas no trabalho de monitoramento e prognose.

4.2. Tecnologia semântica

A ecologia de comunidades coloca desafios para cientistas, gestores e legisladores quanto ao entendimento das forças que constituem esses sistemas, organizados em redes complexas de indivíduos interagindo com seu ambiente, Tal entendimento é de grande importância para solucionar problemas ambientais que ocorrem atualmente em escala local e global (Green et al., 2005). Para isso, a pesquisa ecológica e sua aplicação no manejo e conservação de recursos naturais requerem que os pesquisadores obtenham dados existentes em fontes que tratam de regiões geográficas variadas, produzidos e armazenados de acordo com métodos e tecnologias diferentes; para então integrar e analisar esses dados; produzir modelos com esses dados; e, finalmente, desenvolver recomendações para políticas públicas, tais como planejamento e estabelecimento de reservas ecológicas, incorporação da dinâmica natural de queimadas, manejo de espécies invasoras etc. (Green et al., 2005). Integrar dados de diferentes fontes, construir modelos que possam ser validados por esses dados e usar os resultados para dar subsídios a propostas de conservação, constituem o objetivo central desta tese.

As tecnologias emergentes da pesquisa em Inteligência Artificial podem fornecer ferramentas computacionais de alta performance e eficácia e técnicas que ajudam ecólogos a raciocinar sobre complexidade ecológica, unificação de teorias e mecanismos para aplicar o conhecimento ecológico a problemas reais (Rykiel, 1989). De fato, o aumento exponencial do poder computacional, da capacidade de armazenamento de dados e da conectividade das redes, juntamente com desenvolvimento de algoritmos inovadores, permite que pesquisadores construam modelos cada vez mais complexos (Green et al., 2005).

Portanto, os avanços em tecnologia e comunicação têm sido fatores determinantes no sucesso das ciências biológicas (Bard and Rhee, 2004), que hoje produz grandes quantidades de dados e de técnicas de análises (Williams et al., 2006).

Com isso, tecnologias modernas tais como Internet e catálogos eletrônicos de dados permitem que pesquisadores troquem ideias e informações com facilidade e rapidez jamais atingidas (Madin et al., 2008). O acesso a essa diversidade de fontes de dados torna-se muito importante para a realização de análises sintéticas para tratar de questões ecológicas amplas (Madin et al., 2007).

Parekh (2005) argumenta que a complexidade de domínios de conhecimento e respectivas *terminologias* são grandes obstáculos para o sucesso de estudos interdisciplinares. O autor ressalta que há necessidade urgente de mecanismos eficientes para a descoberta e integração uniforme de conjuntos de dados ecológicos relevantes. Além disso, o desenvolvimento de infraestrutura robusta de ferramentas da informática, incluindo vocabulário padrão e ontologias para pesquisas ecológicas, e o desenvolvimento de cultura e práticas reconhecidas de autoria e diretrizes de colaboração, acesso, compartilhamento e reuso de dados são considerados importantes desafios enfrentados por pesquisadores na área de ecoinformática². Nesse contexto, pesquisadores e desenvolvedores estão agora explorando um novo conceito e conjunto de ferramentas que muitos acreditam melhorará a capacidade dos cientistas de compartilhar conhecimentos: a Web Semântica (WS) (Finin and Sachs, 2004).

O advento da internet e da Web aceleraram a troca de informações por meio de ferramentas como correio eletrônico, publicações *on line*, bibliotecas digitais e máquinas de busca abrangentes, tais como o Google, e, como não podia deixar de ser, entre os primeiros a adotar e impulsionar a Web Semântica estão os cientistas, que veem nessa nova abordagem a possibilidade de recuperação de informações, mineração de dados distribuídos e serviços Web automatizados baseados em conteúdo (Finin and Sachs, 2004).

Berners-lee *et al.* (2001) definem a Web Semântica como uma extensão da Web atual na qual é dado à informação um significado bem definido, o que permite a pessoas e computadores trabalharem em cooperação.

Para exemplificar o que a Web Semântica é capaz de fazer, Smith *et al.*, (2004) afirmam que se alguém perguntar a um mecanismo de busca o seguinte: “Diga-me que tipo de vinho eu devo comprar para servir com cada prato do seguinte cardápio. E, a propósito, não gosto de Sauternes”. Esses autores concluem que seria difícil hoje construir um agente Web capaz de realizar uma busca por vinhos na Web que satisfaça essa pergunta. Para auxiliar esse tipo de computação é necessário ir além de palavras-chave, e então especificar o significado dos recursos descritos na Web. Essa camada adicional de interpretação captura a semântica dos dados.

É possível fazer perguntas semelhantes no domínio da ecologia. E, na perspectiva atual, não teremos um resultado satisfatório para perguntas complexas

² Ecoinformática pode ser definida como uma área de pesquisa e desenvolvimento com foco na interface entre ecologia, ciência de computação e tecnologia da informação (Jones et al., 2006).

como: “quais espécies da vegetação do Cerrado eu devo usar para restaurar rapidamente uma área danificada por alta frequência e severidade do fogo? A área é um afloramento calcário”.

Se a Web Semântica é capaz de melhorar o potencial para recuperar informações, raciocinar sobre os dados disponíveis, integrar e permitir a interoperabilidade entre bases de dados, então é provável que não apenas esse tipo de questão levantada anteriormente possa ser respondido, mas também que o manejo ambiental e a tomada de decisões possam receber maior apoio de conhecimentos científicos.

Um dos primeiros passos para permitir o compartilhamento de conhecimentos é o desenvolvimento de ontologias. Há muitas definições para esse conceito, porém a definição feita por Gruber (1993) é a mais comumente adotada por trabalhos da comunidade de pesquisadores de Inteligência Artificial: “Uma ontologia é uma especificação explícita de uma conceitualização compartilhada”. Outra definição que pode deixar mais claro esse conceito foi feita por Noy and McGuinness (2000): “uma ontologia é uma descrição formal, explícita, de conceitos em um domínio do conhecimento (classes, também chamadas de conceitos), que inclui informações sobre propriedades de cada conceito, descrevendo características e atributos do conceito (“slots”, também chamados de função ou propriedade), e restrições sobre os “slots” (facetadas, também chamadas de restrição de função) ”.

Em sua dissertação de Mestrado, Pareck (2005) apresenta uma lista com fatores motivadores para construir e usar ontologias e tecnologias da Web Semântica em sistemas de informação ambiental, entre os quais se destacam:

- 1) Ontologias são consideradas como as mais avançadas formas de representação de conhecimento;
- 2) Ontologias suportam inferências e permitem que novos conhecimentos derivados sejam gerados a partir de conhecimentos existentes;
- 3) Ontologias fornecem o poder de Raciocínio automatizado necessário sobre o conhecimento existente por meio de regras definidas pelo usuário;
- 4) Ontologias podem fornecer um esquema conceitual para qualquer conjunto de dados a despeito de seu formato, estrutura, complexidade e tamanho;
- 5) A interoperabilidade entre conjuntos de dados heterogêneos pode ser alcançada com o uso de estruturas conceituais compartilhadas compreensíveis por máquinas, junto com ontologias;

- 6) Ontologias podem ser usadas como base para a descoberta e recuperação de conjuntos de dados baseada em conteúdo;
- 7) Tecnologias da Web Semântica como a RDF (Resource Description Framework) (Cyganiak et al., 2014) e OWL2 (Web Ontology Language) (W3C OWL Working Group, 2012) são atualmente recomendações da W3C (World Wide Web Consortium) (“W3C – Wikipédia, a enciclopédia livre,” 2015), inclusive para as próximas gerações de padrões para descrição de dados e decodificação de ontologias;
- 8) Ontologias podem fornecer uma descrição semântica para uma variedade de programas usados em seu domínio. Cada aspecto dos programas de modelagem pode ser capturado e representado como um conhecimento junto com as informações contidas nos modelos produzidos pelos programas;
- 9) Ontologias oferecem suporte para a reusabilidade, isto é, a mesma ontologia pode ser usada em múltiplas aplicações;

Alguns trabalhos foram feitos ou estão atualmente em progresso para criação e uso de ontologias em biologia. Entre essas iniciativas pode-se destacar o The Open Biological and Biomedical Ontologies (OBO Foundry - <http://obofoundry.org/>), um experimento colaborativo envolvendo desenvolvedores com o objetivo de criar ontologias no domínio biomédico. O The National Center For Biomedical Ontology (<http://www.bioontology.org/>) mantém o BioPortal (<http://bioportal.bioontology.org/#>), que, até o momento, apresenta 297 ontologias na área biomédica. Bard and Rhee (2004) relacionam algumas das principais iniciativas em biologia, nos campos da biologia molecular e citologia, anatomia, morfologia, medicina e genética para construção e uso de ontologias. E já existem algumas iniciativas de construção e uso de ontologias no domínio da ecologia, que podem ser observados nos trabalhos de Pareck (2005) com Environmental Ontology, Molecule Ontology, Metadata Ontology e Models Ontology; Madin *et al.* (2007), com Extensible Observation Ontology (OBOE); Lepczyk *et al.* (2008), com uma ontologia para Ecologia de Paisagens; Brilhante (2005), com a Ecolingua; e Williams *et al.* (2006), com Ecological Concepts, uma ontologia para conceitos em ecologia. Entretanto, não foi encontrada nenhuma ontologia específica para a área de ecologia de comunidades.

4.3. O Cerrado brasileiro

As savanas ocupam aproximadamente um quinto da área da superfície terrestre do planeta e dão suporte a uma grande proporção da população humana mundial e a maior parte das pastagens, pecuária e da biomassa de herbívoros silvestres (Sankaran et al., 2005; Scholes and Archer, 1997). A existência de grandes extensões de savanas sobre todo o mundo indica que o bioma savana é um dos principais padrões gerais de adaptação da vegetação às condições ambientais do planeta (Jeltsch et al., 2000). Em muitas áreas, fatores naturais e antropogênicos interagem, tornando difíceis a identificação, o isolamento, ou a quantificação de fatores-chave da estrutura de savana (Scholes and Archer, 1997). Desse modo, Jeltsch *et al.* (2000) observaram que qualquer tentativa de entender, conservar e manejar ecossistemas savânicos tem se deparado com questões que dizem respeito a fatores e processos que permitem a coexistência de duas formas de vida: gramíneas e lenhosas.

Identificar o mecanismo específico que permite essa coexistência e define a densidade de árvores em savanas é essencial para qualquer perspectiva aplicada. Tal conhecimento sustenta diretamente a habilidade de pesquisadores e gestores em prever as respostas das savanas aos vetores de mudanças ambientais, e contribui para a adequada elaboração de estratégias de manejo (Sankaran et al., 2004).

As tentativas de explicar os mecanismos responsáveis pelas interações entre árvores e gramíneas em savanas resultaram em quatro classes de hipóteses alternativas, que, por sua vez, levam a diferentes modelos conceituais de equilíbrio e persistência do bioma: (a) separação espacial de nicho (Walter, 1971); (b) separação fenológica do nicho (Sala et al., 1997); (c) competição balanceada (House et al., 2003; Scholes and Archer, 1997); e (d) gargalos demográficos (Higgins et al., 2000; Sankaran et al., 2004). As três primeiras hipóteses consideram as savanas como sistemas estáveis, enquanto a hipótese do gargalo demográfico considera as savanas como sistemas instáveis.

Segundo Henriques (2005), o bioma Cerrado é provavelmente a maior savana do mundo, ocupando aproximadamente 2.000.000 km² no Brasil Central, além de áreas disjuntas nos biomas adjacentes. Esse autor argumenta que uma das principais questões sobre esse bioma é a determinação dos fatores responsáveis pela sua distribuição e pela dinâmica de suas fitofisionomias.

Moreira (1992) afirma que os principais fatores determinantes da vegetação do Cerrado são: disponibilidade de nutrientes do solo, disponibilidade de água no solo, fogo, herbivoria e ações humanas. Fatores em diferentes escalas parecem estar determinando a dinâmica de vegetação de Cerrado: as condições climáticas atuais (larga

escala) e o longo período de supressão do fogo (média escala) são favoráveis ao estabelecimento de florestas (Roitman et al., 2008). Além disso, segundo Henriques and Hay (2002), o Bioma Cerrado está sofrendo forte mudança antropogênica associada com o desmatamento, alta incidência de fogo e invasão por espécies exóticas.

No sentido de compreender melhor os sistemas savânicos, House *et al.* (2003) afirmam que avanços conceituais e teóricos podem ser alcançados usando técnicas de meta-análise de dados e modelagem, e que modelos que incorporam explicitamente interações e dinâmica árvore-gramíneas variam amplamente em sua abordagem, complexidade e necessidade de dados.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Importantes etapas para a realização do presente trabalho são baseadas em Vilches-Blázquez *et al.* (2010) e consistem em: (1) identificar fontes de dados; (2) gerar modelos ontológicos e modelos ecológicos de Raciocínio qualitativo; (3) transformar os dados em RDF; (4) publicar os dados em RDF, e (5) ligar os dados em RDF com outros conjuntos de dados existentes na nuvem de dados abertos (*Open Data Cloud*). Por fim, com os dados publicados, será realizado um breve estudo de caso demonstrando o uso da aplicação.

5.1. Desenvolvimento e definição de modelos adequados aos problemas do Cerrado

O objetivo geral desta seção é desenvolver modelos baseados em Raciocínio Qualitativo com a finalidade de organizar o conhecimento existente, comparar hipóteses alternativas e conceitos relacionados e facilitar o entendimento dos mecanismos básicos da dinâmica de comunidades de vegetação lenhosa, especialmente do Cerrado, e representar relações de causalidade envolvendo alguns de seus principais elementos e fatores determinantes.

5.1.1. Objetivos Específicos:

1. Usar o Raciocínio Qualitativo como uma ferramenta de modelagem e simulação para compreender os mecanismos de funcionamento dos principais fatores que atuam na determinação e na dinâmica da vegetação do Cerrado, e que melhor se aplicam às observações apresentadas na literatura.
2. Usar o Raciocínio e a modelagem qualitativa como ferramentas de previsão e monitoramento da dinâmica e das mudanças que podem ocorrer na vegetação do Cerrado devido à ação de fatores antrópicos.
3. Desenvolver e utilizar modelos qualitativos a fim de oferecer informações e suporte a pesquisadores, estudantes e gestores na tomada de decisões em relação ao manejo da vegetação do Cerrado.

5.1.2. Questões a serem abordadas pelos modelos

Os modelos qualitativos a serem desenvolvidos devem representar adequadamente as relações causais entre os elementos e fatores a serem considerados, por meio de processos, para comunidades vegetais do Cerrado.

O desenvolvimento e a implementação dos modelos produzidos buscam responder, principalmente, as seguintes questões:

1. Os modelos podem contribuir para a construção de uma teoria simples e satisfatória sobre o funcionamento das comunidades vegetais do Cerrado?
2. É possível produzir um modelo mais simples que os disponíveis na literatura capaz de prever o funcionamento das comunidades vegetais do Cerrado?
3. Em relação às comunidades vegetais do Cerrado, os modelos são capazes de prever desdobramentos de situações difíceis de serem testadas experimentalmente, seja pela quantidade de fatores considerados ou pela impossibilidade de replicação, e indicar caminhos para a realização de testes empíricos e/ou experimentais para elucidar questões incipientes sobre o tema?
4. Os modelos permitem avaliar teoricamente (consistência e robustez) hipóteses concorrentes do funcionamento das comunidades vegetais do Cerrado?

5.2. Construção dos modelos

Os modelos foram desenvolvidos com base na Teoria Qualitativa dos Processos proposta por Forbus (1984), utilizando-se dos elementos de modelagem ali propostos para definir estruturalmente os sistemas de interesse, representar as relações de causalidade e prever os comportamentos possíveis desses sistemas em resposta a mudanças. O uso do Raciocínio Qualitativo permite enfrentar a reduzida quantidade de dados numéricos, e o fato de serem incompletos os dados existentes sobre a dinâmica da vegetação do Cerrado.

Para o desenvolvimento dos modelos foi adotada a abordagem composicional que, entre outras vantagens, faz uso de elementos que podem ser reutilizáveis, denominados de fragmentos de modelos (Falkenhainer and Forbus, 1991). Nessa abordagem, os fragmentos são utilizados de modo a organizar as relações entre variáveis em componentes ecologicamente relevantes, por meio dos quais se podem relacionar as causas de mudanças nos sistemas à ação direta de processos físicos, químicos e biológicos.

Os processos são modelados por meio de influências diretas, simbolizadas por I+ e I-, e seus efeitos se propagam para outras variáveis do sistema por meio de

proporcionalidades qualitativas, simbolizadas por P+ e P-. Os modelos consistem de bibliotecas de fragmentos de modelo de dois tipos: aqueles que descrevem características que não mudam com o tempo (fragmentos estáticos), e fragmentos que descrevem os mecanismos que causam mudanças, ou que definem as relações de causalidade entre os componentes. Para iniciar simulações, são construídos cenários, nos quais são definidos a estrutura do sistema e os valores iniciais das quantidades, a partir dos quais as simulações são realizadas.

Essa abordagem já foi utilizada em estudos na área de ecologia de populações e comunidades como os de Salles (1997), Salles and Bredeweg (2006, 2003a) e Neto (2005). Além disso, os fragmentos de modelo poderão ser utilizados e arranjados de forma a construir cenários e realizar simulações em diferentes escalas espaciais e temporais. Leão (2011) construiu modelos de Raciocínio qualitativo representando diferentes abordagens da teoria de metapopulações e foi capaz de descrever comportamentos em escalas regionais e locais e em curtos e longos prazos.

5.2.1. Detalhes da implementação

A implementação dos modelos foi realizada utilizando-se a estrutura de Raciocínio qualitativo do simulador qualitativo DynaLearn, software implementado em linguagem Prolog, com uma interface gráfica de usuário, cuja versão atual é 1.0.5 (disponível para download em www.DynaLearn.eu). O DynaLearn oferece um ambiente de modelagem amigável para construção, simulação e inspeção de modelos qualitativos em diversos níveis de complexidade e utiliza representações diagramáticas para os usuários interagirem com o conteúdo dos modelos e com os resultados das simulações (Bredeweg et al., 2013).

O desenvolvimento e a implementação dos modelos seguiu o procedimento, descrito em Bredeweg *et al.* (2008), que sugerem uma abordagem estruturada consistindo de seis etapas principais:

1. Orientação e especificação inicial: estabelecer o que deve ser modelado, objetivo, por que e como;
2. Seleção do sistema e da estrutura do modelo: identificação dos objetos que compõem a estrutura do sistema e as variáveis de interesse;
3. Comportamento global: identificação de processos e especificação geral do comportamento que o modelo deve capturar;
4. Estrutura e comportamento detalhados do sistema: especificação detalhada dos

- elementos a serem modelados e do comportamento a ser capturado;
5. Implementação: criação dos constituintes do modelo no software de desenvolvimento de modelos (DynaLearn), simulação e correção para melhorar e otimizar o modelo para obter os resultados requeridos;
 6. Documentação do modelo: documentação do modelo e argumentação subjacente.

5.3. Desenvolvimento das ontologias

Não há uma maneira simples, universal e padrão, disponível para o desenvolvimento de ontologias. Mas, desde o início, é importante determinar o principal propósito da ontologia e quão detalhada ou geral ela será. Isso serve de guia para muitas decisões de modelagem durante a criação da ontologia, pois, de acordo com Noy and McGuinness (2000), o desenvolvimento de ontologias é um processo de evolução, isto é, o desenho de uma ontologia pode passar por mudanças no decorrer do seu desenvolvimento. Assim, a ontologia “final” poderá ser diferente do que foi planejado inicialmente.

De forma mais ampla, Gómez-Pérez *et al.* (2004) comparam algumas abordagens metodológicas para o desenvolvimento de ontologias, entre as quais destaca-se a *NeOn Methodology*, que será adotada nesse trabalho. Essa abordagem inclui três categorias de atividades: (1) atividades de manejo da ontologia; (2) atividades orientadas ao desenvolvimento da ontologia e (3) atividades voltadas ao suporte da ontologia.

As atividades de manejo incluem o agendamento, controle e garantia de qualidade. As atividades orientadas ao desenvolvimento da ontologia incluem três fases: (a) pré-desenvolvimento, dividida em estudo do meio, isto é, de plataformas e aplicações nas quais será usada a ontologia, e estudo de viabilidade, para determinar se é possível criar a ontologia; (b) desenvolvimento, que inclui as fases de especificação, conceitualização, formalização e implementação; e (c) pós-desenvolvimento, na qual se realizam o uso e a manutenção da ontologia. As atividades voltadas ao suporte da ontologia, essenciais para que a ontologia seja construída, ocorrem ao mesmo tempo que as atividades de desenvolvimento. Incluem a aquisição de conhecimento, avaliação, integração, combinação ou união de ontologias, alinhamento, documentação e gerenciamento de configurações (Gómez-Pérez *et al.*, 2004).

5.3.1. Detalhes da implementação

Para criar as ontologias, foi utilizado o programa NeOn Toolkit versão 2.5.2, adotando-se a Web Ontology Language 2 (OWL2) como linguagem padrão para a representação de conhecimento. O software NeOn Toolkit (neon-toolkit.org) é parte de uma nova geração de ambientes de engenharia de ontologia, projetado com uma arquitetura aberta e modular que inclui infraestrutura de serviços tais como registro e repositório, e suporta componentes distribuídos de Raciocínio e colaboração para o gerenciamento de ontologias. Foi dada uma forte ênfase ao gerenciamento de ontologias interligadas, isto é, ao suporte para engenharia de ontologias que estão relacionadas via relações semânticas, tais como importar, alinhar, criar versões etc. O que diferencia o Neon-Toolkit de outros ambientes de engenharia de ontologias é o abrangente e extensível conjunto de funcionalidades correntes na engenharia de ontologias (Aquin et al., 2009).

O OWL2 é uma linguagem de ontologia para a Web Semântica com significado formalmente definido. Ontologias produzidas em OWL2 fornecem classes (conceitos), propriedades, indivíduos (instâncias), relações e valores de dados e são armazenadas como documentos da Web Semântica. É projetada para uso por aplicações que necessitam processar o conteúdo de informações em lugar de apenas apresentar a informação para humanos. OWL2 proporciona maior interpretabilidade por máquinas do conteúdo da Web que o proporcionado por XML (eXtensible Mark up Language), RDF (Resource Description Framework) e RDFS (RDF Schema), devido ao seu maior poder de expressividade aliado à semântica formal. OWL2 é atualmente a linguagem recomendada pela W3C para o desenvolvimento de ontologias (W3C OWL Working Group, 2009).

5.3.2. Documento de especificação de requisitos de ontologia (ORSD - Ontology Requirements Specification Document)

5.3.2.1. Metodologia NeOn

Recomenda desenvolver ontologias reutilizando recursos de conhecimento em contraposição a desenvolver as ontologias desde o início (Suárez-figueroa, 2010).

5.3.2.2. Especificação de Requisitos:

A atividade de especificação de requisitos consiste em definir um conjunto de requisitos que a ontologia deve cumprir (Suárez-Figueroa and Gómez-Pérez, 2008).

O Documento de Especificação de Requisitos Ontológicos (DERO ou ORSD) inclui o propósito, âmbito e nível de formalidade da ontologia, assim como os usuários e usos previstos (Poveda-Villalon, 2010).

O objetivo da Especificação de Requisitos da Ontologia é estabelecer os motivos para a sua construção, quais serão os seus usos e usuários previstos, e quais requisitos devem satisfazer tal ontologia.

Na **Tabela 1** abaixo mostra-se um formulário descritivo proposto por (Suárez-Figueroa, 2010) no marco da metodologia NeOn para as atividades de especificação de requisitos:

Tabela 1. Formulário descritivo de atividade de especificação de requisitos (Suárez-Figueroa, 2010).

Especificação de requisitos ontológicos	
<i>Definição</i>	
	A atividade de especificação de requisitos consiste em definir uma coleção de requisitos que a ontologia deve cumprir, por exemplo, estabelecer porque é necessário construir a ontologia, quais serão os usuários e usos previstos. A elaboração destes requisitos pode ser realizada a partir de um processo de consenso.
<i>Objetivo</i>	
	A atividade de especificação de requisitos estabelece por que se deve desenvolver a ontologia, quais são seus usos e usuários previstos e um conjunto de requisitos que a ontologia deve cumprir.
<i>Entrada</i>	
	Um conjunto de necessidades ontológicas.
<i>Saída</i>	
	O Documento de Especificação de Requisitos de Ontologias (DERO ou ORSD).
<i>Quem</i>	
	Desenvolvedores de software e de ontologias, quem forma a equipe de desenvolvimento ontológico, em colaboração com os especialistas de domínio
<i>Quando</i>	
	Esta atividade deve ser realizada paralelamente a atividade de aquisição de conhecimento.

Para o desenvolvimento da especificação de requisitos a metodologia NeOn propõe algumas atividades importantes que podem ser resumidas da seguinte maneira:

- 1) Identificação do propósito, alcance e linguagem de implementação da ontologia.
- 2) Identificação dos usuários finais previstos.
- 3) Identificação dos usos previstos.
- 4) Identificação dos requisitos
 - a. Requisitos não funcionais que se referem a aspectos gerais não relacionados com o conhecimento que a ontologia deverá representar.
 - b. Requisitos funcionais que são requisitos de conteúdos referentes aos conhecimentos que a ontologia deve representar.
- 5) Agrupamento de requisitos funcionais.
- 6) Validação do conjunto de requisitos.
- 7) Priorização do conjunto de requisitos.
- 8) Extração da terminologia e sua frequência.

5.3.2.3. Especificação de requisitos para ontologia de dinâmica de vegetação do Cerrado

Atividade 1. Identificação do propósito, alcance e linguagem de implementação da ontologia.

Propósito:

O propósito da rede de ontologias do Cerrado é representar o conhecimento científico sobre o Domínio do Cerrado brasileiro.

Alcance:

Devido à complexidade e amplitude do domínio, o alcance da ontologia a ser desenvolvida estará focalizado em cobrir os seguintes subdomínios: vegetação lenhosa do Cerrado, meteorologia, localização (mapas), hidrografia, dados geo-espaciais, modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativo. É importante salientar que para espacializar dados numéricos é necessário que eles contenham informações de localização, mais especificamente que contenham coordenadas geográficas. Por isso apenas dados que contenham essas informações foram utilizados nessa abordagem.

Linguagem:

As ontologias serão desenvolvidas utilizando a linguagem de implementação de ontologias conhecida como OWL, uma vez que esta linguagem faz parte das recomendações do W3C para a Rede Semântica.

Atividade 2. Identificação dos usuários finais previstos.

- Pesquisadores e cientistas que buscam entender o funcionamento de comunidades vegetais savânicas.
- Gestores de UC's e responsáveis pela realização de políticas públicas de meio ambiente e conservação de biodiversidade.
- Usuário de dados e informações ecológicas e ambientais do Cerrado Brasileiro.

Atividade 3. Identificação dos usos previstos.

- Armazenar dados e fornecer informações sobre diversidade, composição e dinâmica de vegetação lenhosa do Cerrado brasileiro.
- Gerenciar dados disponíveis sobre a vegetação do Cerrado.
- Buscar por espécies do Cerrado, sua localização geográfica e mudanças nas populações ao longo do tempo.

Atividade 4. Identificação dos requisitos

a. Requisitos não funcionais:

RNF1. A rede de ontologias deve dar suporte a um cenário multilíngue para os seguintes idiomas: português, inglês, espanhol.

b. Requisitos funcionais:

Para os requisitos ontológicos funcionais foi usada a técnica de questões de competência (Gruninger and Fox, 1994) recomendada pela metodologia NeOn. Na

Tabela 2, foram listados alguns exemplos de questões de competência.

Tabela 2. Questões de competência

Número	Questões de Competência
CQG1	Questões de competência sobre hidrografia (15 CQ)
CQ1	O que é um rio?
CQ2	O rio é primário, secundário ou terciário?
CQ3	O que é um lago?
CQ4	O que é uma Bacia Hidrográfica?
CQ5	Quais são os nomes dos rios ou corpos d'água?
CQ6	Quais são os nomes das bacias hidrográficas?
CQ7	Qual é a extensão de um rio?
CQ8	Qual é o tipo de regime fluvial do rio?
CQ9	Qual é o volume médio da bacia hidrográfica?
CQ13	Quais são os principais usos do rio ou bacia hidrográfica?
CQ14	
CQ15	Qual o volume estimado de um lago?
CQG2	Questões de competência sobre conceitos ecológicos principais (25 CQ)
CQ16	O que é um bioma?
CQ17	O que é uma savana?
CQ18	O que caracteriza uma savana?
CQ19	Quais os fatores determinantes de uma savana?
CQ20	O que é o Cerrado?

CQ21	O que caracteriza o Cerrado?
CQ22	O que é uma população?
CQ23	O que é crescimento populacional?
CQ24	O que é densidade populacional?
CQ25	Quais processos determinam o tamanho populacional?
CQ26	O que é mortalidade?
CQ27	O que é natalidade?
CQ28	O que é uma comunidade ecológica?
CQ29	Quais os tipos de comunidades ecológicas?
CQ30	O que é uma comunidade ecológica aberta?
CQ31	O que é uma comunidade ecológica fechada?
CQ32	O que é biodiversidade?
CQ33	O que é riqueza de espécies em uma comunidade?
CQ34	O que determina a riqueza de espécies de uma comunidade?
CQ35	O que caracteriza uma comunidade de plantas?
CQ36	Quais são os tipos de comunidades de plantas?
CQ37	O que são plantas lenhosas (wood plants)?
CQ38	O que são plantas rasteiras, gramíneas e herbáceas?
CQ39	Quais as principais medidas de riqueza biológica de um ecossistema ou comunidade?
CQ40	Quais atividades humanas são realizadas no Cerrado?
CQG3	Questões de competência sobre Raciocínio Qualitativo (29 CQ)
CQ41	O que é Raciocínio Qualitativo?
CQ42	O que é entidade?
CQ43	O que é quantidade?
CQ44	O que é configuração?
CQ45	O que é espaço quantitativo?
CQ46	O que é magnitude?
CQ47	O que é derivada?
CQ48	O que é um agente?
CQ49	O que é correspondência de espaços quantitativos?
CQ50	O que é correspondência de valores
CQ51	O que é correspondência inversa entre espaços quantitativos?
CQ52	O que é influência direta negativa?
CQ53	O que é influência direta positiva?
CQ54	O que é proporcionalidade qualitativa negativa?
CQ55	O que é proporcionalidade qualitativa positiva?
CQ56	O que é um Caminho ou trajetória?
CQ57	O que é um cenário?
CQ58	O que é um estado?
CQ59	O que é um fragmento de modelo?
CQ60	O que é um grafo de estados?
CQ61	O que é um histórico de valores?
CQ62	O que é um modelo causal?
CQ63	O que é um modelo?
CQ64	O que é uma simulação?
CQ65	O que é uma taxa?
CQ66	O que é uma variável auxiliar?
CQ67	O que é uma variável de estado?
CQ68	O que são modelos conceituais?
CQ69	Quais os principais ingredientes de modelagem do Raciocínio Qualitativo?
CQG4	Questões de competência sobre localização espacial (8 CQ)
CQ70	Onde se localiza o Cerrado?
CQ71	Quais são os aspectos (features) de um determinado ponto?
CQ72	Quais são os lugares com maior e menor número de espécies registradas?

CQ73	Qual a altitude em relação ao nível do mar de um determinado ponto?
CQ74	Qual a área ocupada pelo Cerrado?
CQ75	Qual a área total de uma determinada localidade?
CQ76	Qual a localização dos indivíduos das espécies de plantas lenhosas do Cerrado?
CQ77	Qual a localização geográfica (coordenadas) de um determinado ponto?
CQ78	Quantos rios existem em uma determinada região?
CQ79	A qual bacia hidrográfica um determinado rio pertence?
CQ80	Uma determinada localidade pertence a qual Bacia Hidrográfica?
CQ81	Qual a área ocupada por um lago?
CQG5	Questões de competência sobre meteorologia (13 CQ)
CQ82	Onde ocorrem as queimadas e focos de incêndios florestais no Cerrado?
CQ83	As queimadas ocorrem com que frequência?
CQ84	As queimadas ocorrem em que época do ano?
CQ85	O que são queimadas?
CQ86	Quais os locais com mesma variação de temperatura ao longo do ano?
CQ87	Quais os locais com temperaturas semelhantes?
CQ88	Quais os locais que apresentaram a maior temperatura máxima em um determinado período?
CQ89	Quais os tipos de queimadas?
CQ90	Qual a precipitação em um determinado local e tempo?
CQ91	Qual a severidade de cada evento de queimada no Cerrado?
CQ92	Qual a temperatura em um determinado local em um determinado tempo?
CQ93	Qual a umidade relativa do ar em um determinado local e tempo?
CQ94	Qual o período que apresenta, simultaneamente, a maior temperatura média, menor precipitação e menor umidade relativa do ar?
CQG6	Questões de competência sobre dinâmica de vegetação do Cerrado (37 CQ)
CQ95	Como se determina a taxa de crescimento ou incremento anual de uma comunidade de plantas?
CQ96	Como se determina a taxa de mortalidade de uma comunidade de plantas?
CQ97	Como se determina a taxa de natalidade de uma comunidade de plantas?
CQ98	Como varia a composição de espécies em um lugar?
CQ99	Como varia a quantidade de indivíduos de cada espécie com o tempo?
CQ100	Em quais datas os inventários de plantas lenhosas do Cerrado foram realizados?
CQ101	Em quais localidades a taxa de crescimento é negativa?
CQ102	Em quais localidades a taxa de crescimento é positiva?
CQ103	Em quais localidades a taxa de crescimento é zero?
CQ104	Espécies diferentes em uma mesma localidade apresentam taxas de mortalidade semelhantes?
CQ105	Espécies diferentes em uma mesma localidade apresentam taxas de natalidade semelhantes?
CQ106	Há quantos inventários de plantas lenhosas do Cerrado?
CQ107	Onde se localizam os herbários com exemplares de plantas lenhosas do Cerrado?
CQ108	Quais as principais atividades humanas realizadas próximas a áreas de inventários de plantas lenhosas?
CQ109	Quais espécies co-ocorrem com mais frequência?
CQ110	Quais espécies estão relacionadas com alta umidade?
CQ111	Quais espécies ocorrem na ausência de fogo?
CQ112	Quais espécies ocorrem na presença de fogo?
CQ113	Quais espécies são resistentes ao fogo?
CQ114	Quais espécies são sensíveis ao fogo?
CQ115	Quais foram os critérios de inclusão no inventário?
CQ116	Quais os nomes das pessoas que realizaram os inventários?
CQ117	Quais os parâmetros usados para o estudo da dinâmica de comunidades de vegetação lenhosa?
CQ118	Quais os principais processos causadores das mudanças no número de indivíduos de uma espécie?
CQ119	Quais são os nomes científicos das espécies de plantas lenhosas do Cerrado?

CQ120	Quais são os nomes comuns das espécies de plantas lenhosas do Cerrado?
CQ121	Quais são os requisitos para uma determinada espécie se estabelecer em um local? (Inferência)
CQ122	Qual a densidade de plantas lenhosas em uma localidade?
CQ123	Qual a quantidade de indivíduos de cada espécie de plantas lenhosas do Cerrado?
CQ124	Qual é a taxa de crescimento ou incremento (número de indivíduos/tempo) de plantas em um local?
CQ125	Qual é a taxa de mortalidade de plantas lenhosas em uma localidade?
CQ126	Qual é a taxa de recrutamento (natalidade) de plantas lenhosas em uma localidade?
CQ127	Quantas espécies de plantas lenhosas há no Cerrado?
CQ128	Quantas espécies de plantas nativas ocorrem em uma determinada localidade?
CQ129	Uma espécie presente em localidades diferentes apresenta taxa de crescimento semelhante?
CQ130	Uma espécie presente em localidades diferentes apresenta taxas de mortalidade semelhantes?
CQ131	Uma espécie presente em localidades diferentes apresenta taxas de natalidades semelhantes?

5.3.2.4. Planejamento

Tarefa 1. Seleção do modelo de ciclo de vida da rede de ontologias. A **Figura 1** ilustra o modelo de ciclo de vida selecionado.

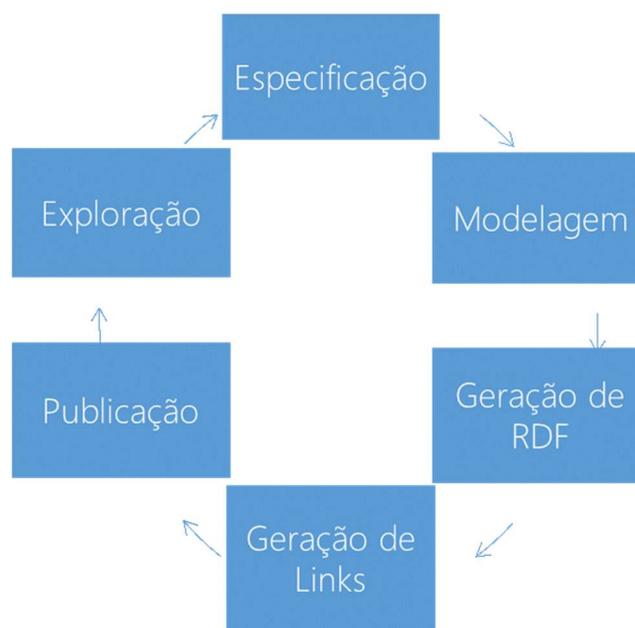


Figura 1. Modelo de ciclo de vida de desenvolvimento de rede de ontologias.

Tarefa 2. Seleção do conjunto de cenários

Tarefa 3. Atualização do Plano Inicial

Tarefa 4. Estabelecimento de restrições e alocação de recursos

Tarefa 4.1. Modelagem:

- Reutilização de Recursos Ontológicos
- Reutilização de Ontologias Gerais na Rede de Ontologias do Cerrado

- Reutilização de ontologia de tempo
- Reutilização de ontologia de geolocalização
- Reutilização de ontologia de meteorologia
- Reutilização de ontologia de Raciocínio qualitativo
- Reutilização de Ontologias de Domínio na Rede de Ontologias do Cerrado

5.3.2.4.1. Avaliação das ontologias

A correta aplicação de metodologias de desenvolvimento de ontologias favorece a qualidade da ontologia. Entretanto, sua qualidade pode ser afetada por dificuldades envolvendo o processo de modelagem que pode causar o surgimento de anomalias nas ontologias (Poveda-Villalón et al., 2012).

Desse modo, assim como qualquer artefato de engenharia, uma ontologia precisa ser cuidadosamente avaliada (Vrandečić, 2009). Além disso, é necessário identificar quais aspectos das ontologias são relevantes para serem avaliados, e selecionar a técnica mais apropriada para executar a avaliação. Foi utilizada OOPS! (*Ontology Pitfall Scanner* – Escaner de Falhas Ontológicas)³, um serviço *on line* que oferece a detecção automática de falhas que afetam a estrutura, funcionalidade e usabilidade das ontologias (Poveda-Villalón et al., 2012).

É importante também avaliar as ontologias de domínio de acordo com sua completude e correção conceitual. Para executar tal avaliação dois questionários *on line* foram elaborados, um para cada ontologia. Questões em escala Likert e abertas constituem os questionários. Os questionários (Apêndices C e D) foram enviados por e-mail para 28 especialistas no domínio de conhecimento do Cerrado e de Ciências da Computação, dos quais vinte e um (25) no Brasil, um (1) nos Estados Unidos e um (1) no Reino Unido e um (1) na Holanda. Junto com os questionários foi disponibilizada a documentação completa das ontologias, e as questões de competência elaboradas durante o processo de desenvolvimento das ontologias. Esses documentos são relevantes, uma vez que os especialistas podem usá-los para inspecionar com detalhes a estrutura e os conceitos usados nas ontologias.

Apenas sete (7) especialistas responderam ao questionário de dinâmica de vegetação do Cerrado e cinco (5) responderam ao questionário sobre a ontologia do

³ <http://oeg-lia3.dia.fi.upm.es/oops/index.jsp>

fogo. Um sumário das respostas resultante do preenchimento dos questionários pelos especialistas no Google Forms encontra-se disponível nos apêndices E e F.

5.4. Identificação de fontes de dados

Os dados a serem utilizados serão obtidos de diferentes fontes, tais como artigos científicos e bases de dados de estudos que apresentam informações geográficas, nomes de locais, coordenadas geográficas e fatores abióticos.

5.5. Ligações entre modelos e dados numéricos

Foram coletados dados disponíveis de agências governamentais brasileiras tais como INMET⁴ (Instituto Nacional de Meteorologia), INPE⁵ (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial), IBGE⁶ (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e LAPIG-UFG⁷ (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás) (**Tabela 3**). Foram coletados também dados sobre a ocorrência e abundância de espécies de plantas lenhosas de diferentes estudos publicados em artigos científicos, dissertações e teses de doutorado.

Os dados foram encontrados em diferentes formatos, tais como planilhas, arquivos de texto, arquivos *shape files*. Foi utilizada a ferramenta LOD Refine (*Linked Open Data Refine*), para transformar todos os arquivos para o formato RDF. Os modelos qualitativos foram construídos usando o programa *DynaLearn* a fim de representar a dinâmica da vegetação do Cerrado e posteriormente exportados para o formato OWL.

5.6. Delineamento das URI's

A URI base adotada foi <http://Cerrado.linkeddata.es/>. Esse segmento é comum a todos os elementos da base de conhecimentos. As classes e propriedades, também denominadas de TBox, e as instâncias, também denominadas por ABox, foram separadas nos seguintes esquemas de URI's <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/> e <http://Cerrado.linkeddata.es/resource/>, respectivamente

⁴ <http://www.inmet.gov.br/>

⁵ <http://www.inpe.br/>

⁶ <http://www.ibge.gov.br>

⁷ <http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>

Tabela 3. Conjunto de dados usados, sua origem e formato original.

Conjunto de dados	Órgão de origem	Formato do arquivo
Dados de vegetação	Estudos científicos	Planilhas e PDF
Modelos Ecológicos de Raciocínio Qualitativos	DynaLearn	OWL
Dados Meteorológicos	INMET	Arquivo de texto
Ocorrência de queimadas	INPE	Arquivo de texto
Mapa de solos do Brasil	IBGE	<i>Shape file</i>
Mapa de vegetação do Brasil	IBGE	<i>Shape file</i>
Mapa de Biomas do Brasil	IBGE	<i>Shape file</i>
Mapa de áreas remanescentes do Cerrado	IBGE	<i>Shape file</i>
Mapa de áreas antrópicas do Cerrado	IBGE	<i>Shape file</i>
Mapas de cenários de desmatamento do Cerrado	LAPIG-UFG	<i>Shape file</i>

O esquema de URI's dos componentes TBox também foram divididos em <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon/> para especificar os elementos que pertencem à ontologia Ccon, e <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/> para especificar os elementos que pertencem a ontologia do fogo (*Fire Ontology*).

5.7. Ligação entre os conjuntos de dados e a publicação

Para realizar a ligação entre os conjuntos de dados foi utilizado o *Silk Link Discovery Framework*⁸ (Estrutura de Descoberta de Ligações *Silk*) para identificar e criar ligações do tipo *owl:sameAs* entre entidades iguais ou de mesmo significado, de diferentes conjuntos de dados, modelos e mapas. Após a criação dos links foi utilizada uma ferramenta chamada *sameAs Link Validator Tool*⁹ com o objetivo de validar as ligações descobertas.

Para publicar na *internet* os dados em formato RDF foi utilizado o servidor Virtuoso¹⁰. Este servidor fornece as funcionalidades tradicionais de DBMS, bases de dados virtuais, armazenamento de RDF *triples*, armazenamento XML, servidores de aplicações *web* e servidores de arquivos (Vilches-Blázquez *et al* 2010). Para visualizar e navegar pelos dados em RDF foi utilizado a plataforma *Pubby*¹¹ sobre o *Virtuoso*.

5.8. Implementação do protótipo

Foi empregada uma aplicação baseada na rede (*web based application*) chamada Map4RDF¹², para fornecer a visualização da informação agregada. Sua interface integra a visualização de mapas, usando a API (*Application Programming Interface*) do Google

⁸ <http://www4.wiwiw.fu-berlin.de/bizer/silk>

⁹ <http://oeg-dev.dia.fi.upm.es:8080/sameAs>

¹⁰ <http://virtuoso.openlinksw.com/>

¹¹ <http://www4.wiwiw.fu-berlin.de/pubby>

¹² <http://oegdev.dia.fi.upm.es/map4rdf/>

Mapas, com navegação facetada. A aplicação renderiza e exibe no mapa as formas geométricas distintas dos aspectos geográficos publicados em RDF. Além disso, é possível exibir dados estatísticos no mapa para que o usuário possa observá-los e compará-los. Nosso objetivo é conectar modelos de Raciocínio qualitativo com dados ambientais disponíveis nos conjuntos de dados e executar simulações a fim de explicar de que maneira uma situação específica ocorreu ou prever possíveis desdobramentos de uma situação inicial do sistema ecológico estudado. No atual estado de implementação, quando um usuário seleciona uma variável ou conjunto de variáveis ambientais presentes no conjunto de dados, a aplicação seleciona entre os modelos disponíveis no repositório aqueles que apresentam a mesma variável ou conjunto de variáveis.

O algoritmo basicamente utiliza as ligações *owl:sameAs* geradas entre as variáveis dos conjuntos de dados e as quantidades nos modelos. Se ao menos uma dessas ligações é correspondida, então o modelo é apresentado como candidato ao usuário.

6. RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os principais resultados obtidos com a construção de modelos e com a construção de ontologias de domínio, bem como das ligações dos modelos e bases de dados e suas implicações.

6.1. Os modelos em *DynaLearn*

Aqui serão apresentados alguns dos modelos elaborados em conexão com o Projeto DynaLearn, cujo objetivo era construir modelos explorando 14 tópicos e 20 subtópicos que são parte integrante do currículo de ciências ambientais para a abordagem de aprender modelando com DynaLearn. Cada modelo construído em diferentes Espaços de Aprendizagem (*Learning Spaces*) de DynaLearn tinha como objetivo representar conceitos ecológicos básicos e mecanismos ecológicos fundamentais, que afinal deram origem a conjuntos de padrões de modelos básicos e avançados (Salles et al., 2012).

6.1.1. Modelos do Dynalearn usados nas escolas: o papel dos modelos na comunicação de conceitos de ecologia.

No contexto do projeto DynaLearn foi implementada uma abordagem pedagógica chamada aprender modelando (*Learning by modeling*), explorando um conjunto de padrões de modelo - peças genéricas e transferíveis de estruturas de modelos que frequentemente aparecem em modelos de ciências ambientais produzidos para representar o conhecimento de domínio. Baseados em habilidades de Raciocínio lógico e pensamento sistêmico, postos-chaves para a construção de modelos qualitativos de dinâmica de sistemas e a possibilidade de combinar os padrões de modelo, a base para a aprendizagem através da modelagem foi fortalecida. As boas práticas de modelagem sugerem uma metodologia para o desenvolvimento de modelos de modo que as funcionalidades semânticas do programa DynaLearn possa facilitar o desenvolvimento de capacidades de aprendizagem auto-dirigida e a autonomia dos estudantes e usuários. Desta forma, espera-se que o currículo DynaLearn venha a contribuir para motivar os alunos a escolherem as profissões relacionadas às áreas de ciências, e para a melhoria da educação científica.

Tendo em vista a capacidade de comunicação de princípios ecológicos fundamentais pelos padrões de modelo, bem como sua potencial associação com

tecnologias semânticas especialmente relacionadas com a engenharia de ontologias, possibilitou a implementação de uma abordagem metodológica capaz de criar ligações semânticas entre modelos, dados numéricos e mapas.

6.1.1.1. Modelo de Dinâmica de vegetação do Cerrado

Além dos modelos construídos em associação com o projeto DynaLearn também foram construídos para este trabalho modelos para representar os mecanismos de coexistência do estrato arbóreo e do estrato herbáceo-graminoso no bioma Cerrado. Os modelos foram construídos nos níveis de aprendizado 4 e 6 do DynaLearn e as descrições dos modelos encontram-se nas seções a seguir.

6.1.1.2. Conceitos e objetivos

O principal objetivo dos modelos aqui apresentados é principalmente representar a estrutura de comunidades de vegetação do Cerrado brasileiro.

Os conceitos chave envolvidos na dinâmica de vegetação do Cerrado representados no modelo são:

- As interações entre dois tipos de comunidades vegetais comumente encontradas na fitofisionomia de Cerrado sentido restrito: vegetação lenhosa e vegetação herbáceo graminosa. Para fins de simplificação do modelo o estrato arbustivo está sendo considerado mo parte do estrato arbóreo.
- O fogo é considerado um agente de perturbação na vegetação do bioma do Cerrado com grande impacto na dinâmica das populações das plantas.
- Fatores tais como Pluviosidade, Umidade Relativa do Ar e Temperatura do Ar foram considerados por afetarem o Risco de Fogo.

6.1.1.3. Ingredientes do modelo

A **Tabela 4** contém as entidades, quantidades e seus respectivos espaços quantitativos. Deve-se salientar aqui que para o protótipo de aplicação usando o MAP4RDF foram utilizados 6 modelos diferentes no LS4.

Tabela 4. Entidades, Quantidades e espaços quantitativos contidos no modelo de Dinâmica de Vegetação do Cerrado LS4.

Entidade	Quantidade	Espaço quantitativo
Cerrado	-	-
Estrato arbóreo	Densidade	<i>{Zero, Plus, Maximum}</i>
	Número de indivíduos	<i>{Zero, Plus}</i>
	Taxa de recrutamento	<i>{Zero, Plus}</i>
	Taxa de mortalidade	<i>{Zero, Plus}</i>
Estrato herbáceo graminoso	Densidade	<i>{Zero, Plus, Maximum}</i>
	Número de indivíduos	<i>{Zero, Plus}</i>
	Taxa de recrutamento	<i>{Zero, Plus}</i>
	Taxa de mortalidade	<i>{Zero, Plus}</i>
Atmosfera	Pluviosidade	<i>{Pequena, Crítica, Alta}</i>
	Umidade Relativa do Ar	<i>{Baixa, Média, Alta}</i>
	Temperatura do Ar	<i>{Baixa, Média, Alta}</i>
Fogo	Risco de Fogo	<i>{Zero, Baixo, Crítico, Alto}</i>
	Queimada	<i>{Zero, Plus}</i>

6.1.1.4. Cenário e simulação

Os cenários representam as situações iniciais do Sistema no modelo, incluindo configurações do sistema de interesse e os valores iniciais das quantidades. O cenário, ou modelo mais completo construído no nível de aprendizado 4 (Learning Space 4) é apresentado na **Figura 2**. Nesse modelo os dois estratos de vegetação apresentam as variáveis Número de Indivíduos, Densidade, Taxa de recrutamento e Taxa de mortalidade. Assim, optou-se por representar a comunidade de forma muito semelhante a uma população, na qual a variável número de indivíduos é afetada negativamente pela taxa de mortalidade e positivamente pela taxa de natalidade. Os mecanismos de retroalimentação e controle também foram representados. O modelo representa ainda os principais efeitos que a comunidade de plantas lenhosas tem sobre a comunidade de plantas herbáceo graminosas e vice-versa. A situação inicial representa condições em que a Pluviosidade e Umidade Relativa do Ar diminuem e a Temperatura do Ar aumenta, favorecendo o aumento do Risco de Fogo e consequentemente de Queimadas.

A simulação desse modelo gerou um Grafo de Estados com 200 Estados. Para exemplificar o comportamento do sistema obtido foi selecionado o Caminho [1 → 46 → 88 → 146 → 169]. Nesse caminho observa-se que com o aumento da Queimada e a redução da Pluviosidade ocorre uma redução no Número de Indivíduos e na Densidade do Estrato arbóreo. Enquanto que no estrato herbáceo graminoso ocorre inicialmente uma redução e posterior aumento no Número de Indivíduos e na Densidade (**Figura 3**).

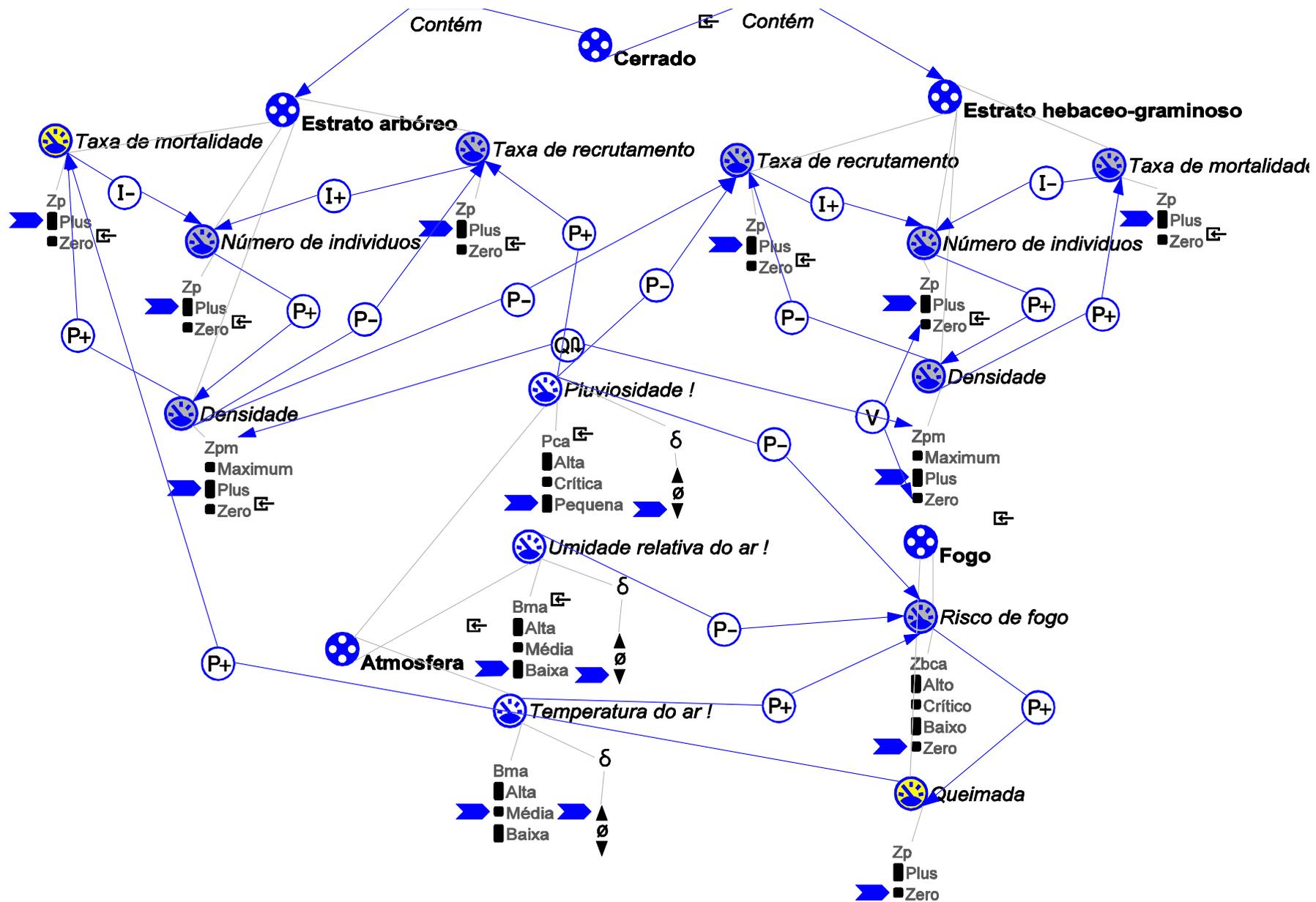


Figura 2. Modelo de Dinâmica de Vegetação do Cerrado no nível de aprendizado 4 (LS4), construído com o programa DynaLearn.

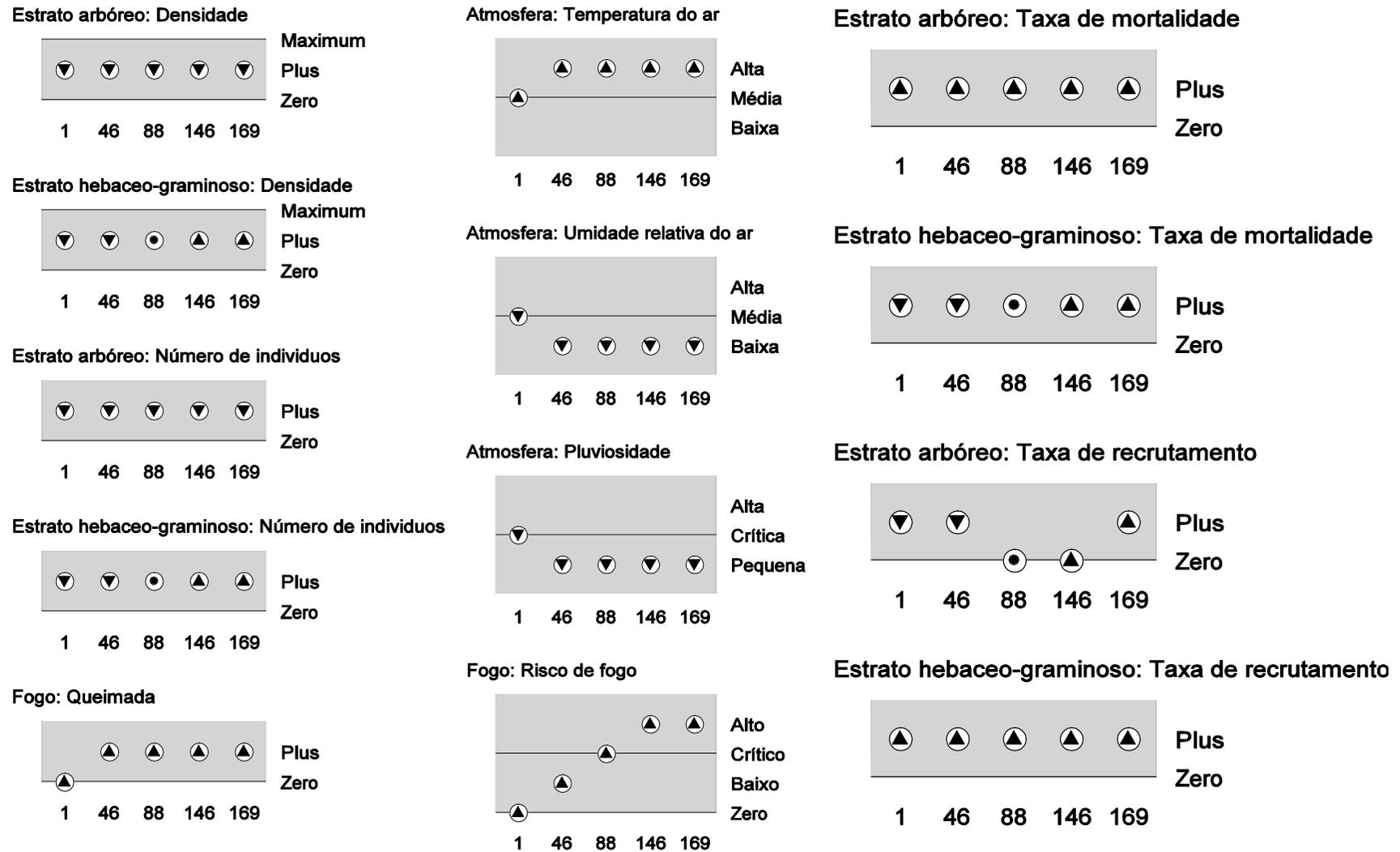


Figura 3. Diagrama de história de valores da simulação do modelo qualitativo de dinâmica de comunidade de plantas do Cerrado construído no nível de aprendizado 4 (LS4) no DynaLearn.

6.1.1.5. Aspectos teóricos do modelo

Considerando as principais hipóteses que buscam explicar a coexistência de árvores e gramíneas: (a) separação espacial de nicho (Walter, 1971); (b) separação fenológica do nicho (Sala et al., 1997); (c) competição balanceada (House et al., 2003; Scholes and Archer, 1997); e (d) gargalos demográficos (Higgins et al., 2000; Sankaran et al., 2004). As três primeiras hipóteses consideram as savanas como sistemas estáveis, enquanto a hipótese do gargalo demográfico considera as savanas como sistemas instáveis.

A estrutura do sistema representada no modelo utiliza variáveis comumente encontradas na literatura científica que visa descrever a fitossociologia e a dinâmica de comunidades de vegetação lenhosa de áreas de Cerrado *sensu lato*, mais especificamente de Cerrado *sensu stricto*.

6.2. Visão geral do modelo ontológico

Foi desenvolvida uma Rede de Ontologias (**Figura 4**) para representar o conhecimento científico sobre a ecologia vegetal com foco na dinâmica de plantas lenhosas do bioma Cerrado. A rede é formada por ontologias de diferentes domínios, tais como estatística, clima, geo-espacial, tempo, Raciocínio qualitativo, comunidades vegetais e influência do fogo.

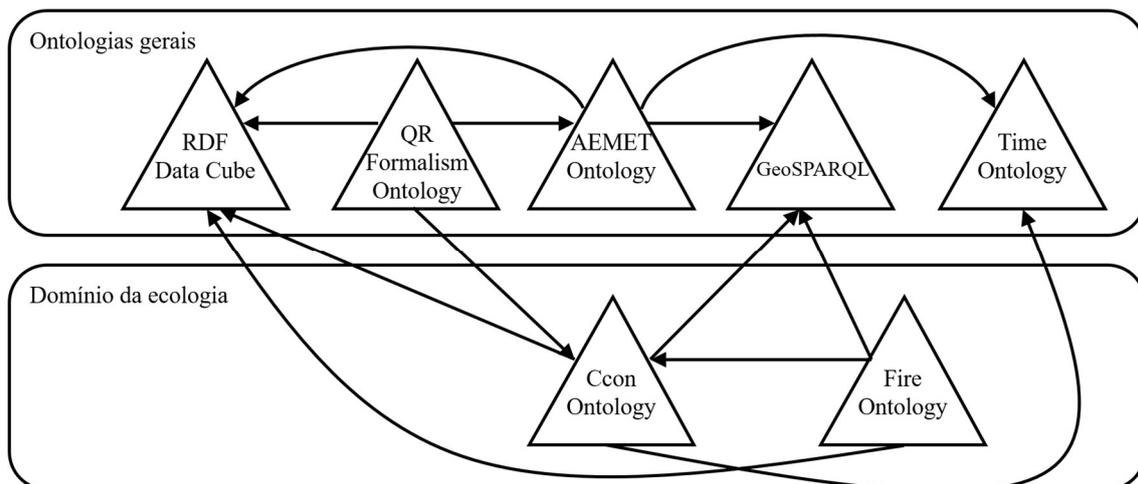


Figura 4. Visão geral do modelo ontológico.

Nesse modelo ontológico, foram reutilizadas ontologias que correspondem aos requisitos de representação do conhecimento adquiridos durante o desenvolvimento do protótipo de estudo de caso, que são:11

- Representar dados estatísticos multidimensionais e a informação observada. Esse requisito é cumprido pelo *RDF Data Cube vocabulary* o formato pad44rão de RDF (*Resource Description Framework*) do W3C (*World Wide Web Consortium*) para publicação de informações estatísticas na internet (Cyganiak and Reynolds, 2013).
- Representar medidas meteorológicas e suas propriedades. A rede de ontologias AEMET (Atemezing *et al.*, 2011) cobre esse requisito. Trata-se de uma ontologia modular relacionada a modelagem de medidas meteorológicas. Cada medida representa uma condição atmosférica (umidade, temperatura, precipitação etc) em um local e tempo específicos (Atemezing *et al.*, 2011).
- Representar informação geográfica e dados geo-espaciais. A ontologia *GeoSPARQL* que fornece um vocabulário para expressar informações geo-espaciais (Perry and Herring, 2012) cumpre esse requisito. O *GeoSPARQL* define um vocabulário para representar dados geo-espaciais em RDF, e define uma extensão da linguagem de consulta *SPARQL* para processamento de dados geo-espaciais (Perry and Herring, 2012).
- Representar tempo, instantes e intervalos. Este requisito é coberto pela *Time Ontology*. Esta ontologia fornece um vocabulário para expressar fatos sobre as relações topológicas entre instantes e intervalos, junto com informações sobre duração de tempo e sobre informações de datas (Hobbs and Pan, 2006).
- Representar modelos de Raciocínio qualitativo. Este requisito é cumprido pela *QR formalism ontology* que define cada um dos termos usados no formalismo do Raciocínio Qualitativo no *Garp3* que também são usados no programa *DynaLearn ILE (Interactive Learning Environment)*. Essa ontologia fornece as URIs (*Uniform Resource Identifier*) que identificam os tipos de ingredientes de modelagem e também expressa adequadamente o significado dos termos do Raciocínio Qualitativo em OWL (Liem, 2013).
- Representar conceitos ecológicos tais como dinâmica de comunidades de plantas e as diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado. Este requisito é cumprido pela *Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Ontology*

(Ccon¹³). Esta ontologia foi desenvolvida para representar o conhecimento científico sobre ecologia vegetal com foco na descrição da dinâmica de plantas lenhosas do domínio do Cerrado brasileiro. Ela define as diferentes características das fitofisionomias em termos de cobertura arbórea, também define o conceito de savana. Apresenta classes distintas para representar as principais fisionomias vegetais. Além disso, a ontologia inclui classes para representar conceitos de diversidade biológica, parâmetros usados para descrever a estrutura e dinâmica de comunidades de plantas lenhosas e os principais fatores determinantes da estrutura e composição dessas comunidades vegetais.

- Representar os regimes e eventos de fogo no bioma Cerrado. A *Fire Ontology* (*Fire*¹⁴) é a ontologia desenvolvida para cumprir esse requisito. A ontologia do Fogo foi elaborada para representar o conjunto de conceitos envolvidos na ocorrência de fogo na vegetação natural, suas características, causas e efeitos, como foco no domínio vegetacional do Cerrado. O fogo desempenha uma função determinante na estrutura e composição das fitofisionomias do Cerrado (Moreira, 1992). Atualmente, a principal causa de queimadas no Cerrado é antropogênica, entretanto, os raios naturais podem produzir fogo no começo da estação chuvosa e evidências demonstram a presença do fogo na história das savanas antes da influência humana. Alguns importantes efeitos do fogo, tais como mortalidade de plantas e *topkill*¹⁵ foram considerados, principalmente aqueles diretamente relacionados com a dinâmica de plantas lenhosas do Cerrado.

Nas ontologias de domínio foram reutilizados termos das ontologias *Crop-Wild Relatives ontology* (CWR) e *Environmental Ontology* (EnvO). Entretanto, foram adicionados elementos específicos que são típicos da dinâmica de comunidades de plantas lenhosas, tais como *mortality* e *recruitment rates* (taxas de mortalidade e recrutamento, respectivamente), e relações entre estes elementos e variáveis ambientais, por exemplo, *affects* e *isCausedBy* (afeta e é causado por, respectivamente). Algumas características específicas do fogo na vegetação também foram incorporadas tais como *FireRisk* e *FireFrequency* (risco de fogo e frequência de fogo respectivamente) e

¹³ <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon>

¹⁴ <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire>

¹⁵ Termo empregado para a mortalidade apenas da parte aérea da planta, isto é, apenas das partes que se encontram acima do solo, não levando necessariamente a morte do indivíduo.

hasRisk (tem risco) como uma propriedade de objeto. Tais elementos e propriedades não são especificados em outras ontologias do domínio da ecologia.

6.2.1. As ontologias de domínio

6.3. Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Ontology (Ccon)

Cerrado Concepts and Wood Plants Dynamics Ontology (Ccon)¹⁶ representa o conhecimento científico sobre a ecologia da vegetação do Cerrado, focado em descrever a dinâmica de plantas lenhosas. Tem o objetivo de armazenar dados e coletar informações sobre biodiversidade, composição e dinâmica de populações de plantas, gerenciar dados sobre comunidades de plantas do Cerrado, e buscar mudanças nas populações de espécies do Cerrado no tempo.

A ontologia descreve como o Cerrado é organizado estruturalmente, em termos de níveis de organização biológica. Muitos tipos de fisionomias de Cerrado têm sido descritos e estudados. Entretanto, não existe um consenso sobre as definições e as características específicas de cada uma. Assim, os conceitos usados nesta ontologia são aqueles mais comumente usados por pesquisadores e instituições de pesquisa e universidades no Brasil, isto é, aquelas mais frequentemente utilizadas na literatura científica (Coutinho, 1978; Felfili et al., 2004; Goodland, 1971).

A ontologia define características das fisionomias, e também define o conceito de savana, um dos maiores tipos de ecossistemas terrestres e o ecossistema mais representativo no domínio do Cerrado. Com isso, a ontologia tem classes distintas para representar cada uma das fisionomias mais comuns (**Figura 4**), e como as comunidades vegetais são organizadas para determiná-las. Além disso, a ontologia define classes representando diversidade biológica, reutilizando alguns termos de “*Crop Wild Relatives Ontology* (CWR)¹⁷, de FAO e *Environmental Ontology* (EnvO) parâmetros para descrever a estrutura e dinâmica de comunidades de plantas lenhosas e o papel de forças motrizes agindo para determinar a estrutura e composição dessas comunidades vegetais.

¹⁶ <http://cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon>

¹⁷ <http://aims.fao.org/kos/crop-wild-relatives-ontology>

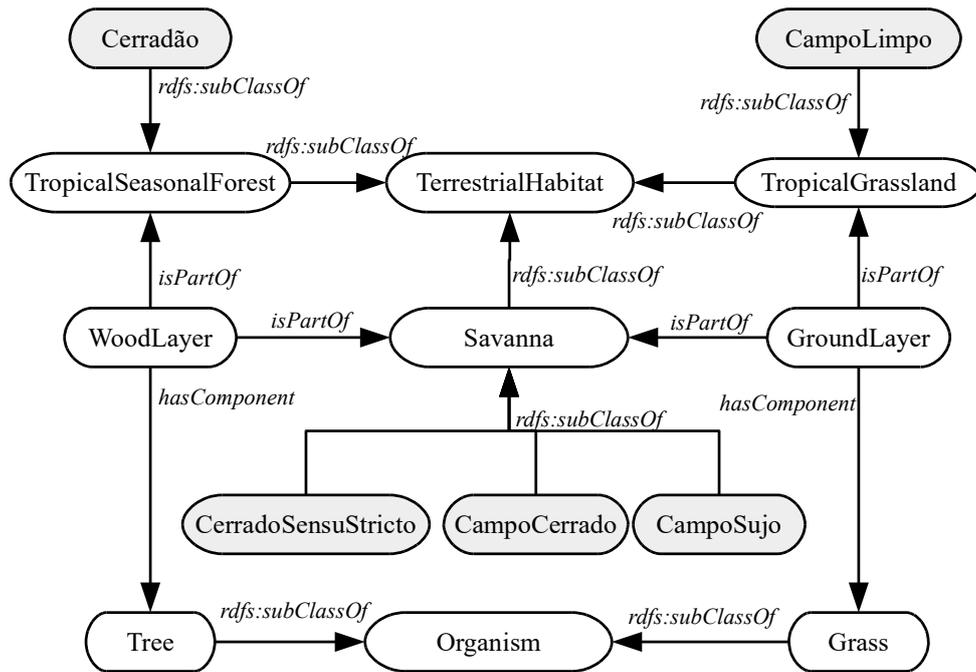


Figura 5. Representação gráfica de algumas classes e propriedades de objetos da Ontologia Ccon. As fisionomias são representadas em cinza.

6.4. Fire Ontology (Fire)

A ontologia Fogo¹⁸ foi criada a fim de representar um conjunto de conceitos sobre o fogo que ocorre na vegetação natural, suas características, causas e efeitos, com foco no domínio vegetacional do Cerrado. O fogo desempenha um papel determinante na estrutura e composição das fisionomias do Cerrado (Coutinho, 1982; Miranda et al., 2009). O fogo é considerado um drástico agente de perturbação na vegetação do bioma do Cerrado com grande impacto na dinâmica das populações das plantas (Henriques, 2005). Eventos de fogo na vegetação são tipicamente descritos em termos de área queimada, duração, severidade, frequência, entre outras medidas quando disponíveis (Ministério do Meio Ambiente - MMA and Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, 2011; Miranda et al., 2009). Portanto, essas variáveis foram levadas em consideração para construir a ontologia. Além disso, informações relevantes incluem causas e efeitos de eventos de fogo (Figura 6). Atualmente, a principal causa de queimadas no Cerrado é antropogênica, isto é, uma ação humana que atea fogo na vegetação. Por milhares de anos, incêndios naturais, durante a estação úmida, e incêndios antropogênicos, durante a estação seca coexistiram na região do Cerrado, sugerindo que o fogo é um fator determinante das formas vegetacionais do Cerrado (Miranda et al., 2009).

¹⁸ <http://cerrado.linkeddata.es/ecology/fire>

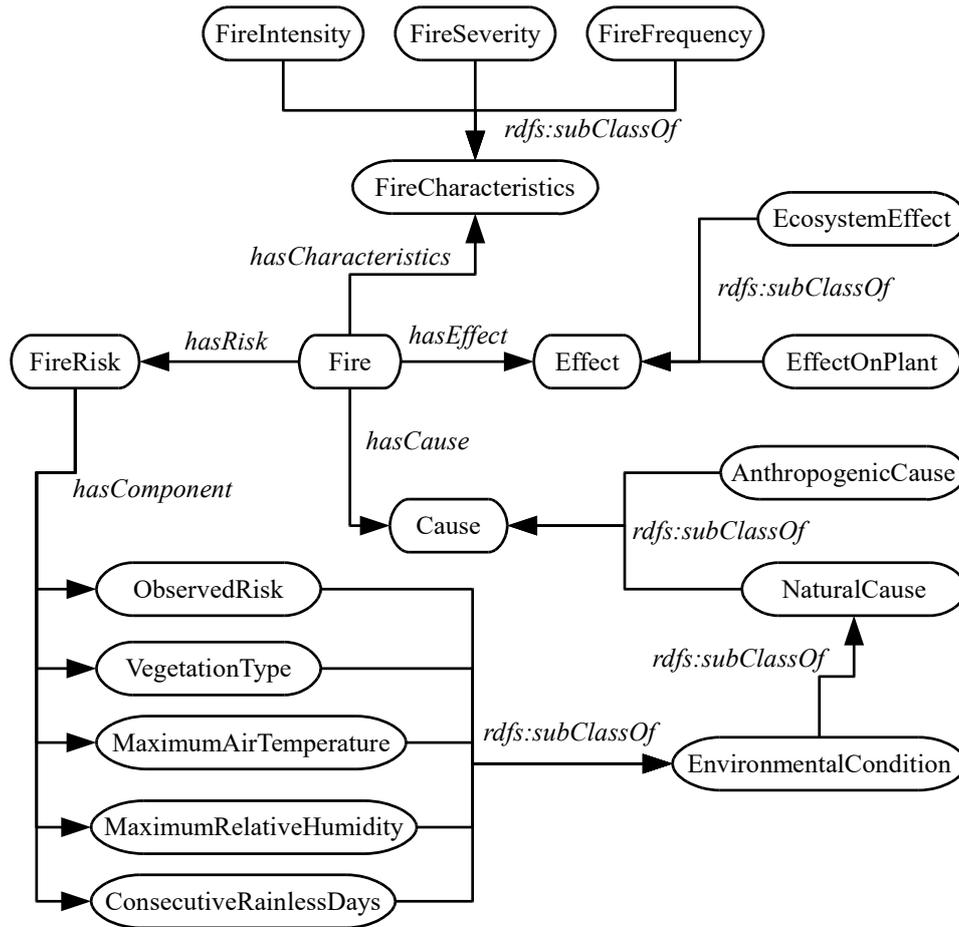


Figura 6. Representação gráfica de algumas classes e propriedades de objetos da Ontologia do Fogo (*Fire Ontology*).

Alguns efeitos importantes foram considerados, principalmente aqueles diretamente relacionados a dinâmica de plantas lenhosas do Cerrado, o que é o foco da rede de ontologias inteira. Incêndios florestais são descritos como queimadas incontroláveis, em oposição a queimadas controladas tais como as queimadas em estação fria e incêndios de alta intensidade usados no manejo ambiental.

6.5. Avaliação de ontologias

A correta aplicação de metodologias de desenvolvimento de ontologias favorece a qualidade da ontologia. Entretanto, sua qualidade pode ser afetada por dificuldades envolvendo o processo de modelagem que pode causar o surgimento de anomalias nas ontologias (Poveda-Villalón et al., 2012).

Desse modo, assim como qualquer artefato de engenharia, uma ontologia precisa ser cuidadosamente avaliada (Vrandečić, 2009). Além disso, é necessário identificar quais aspectos das ontologias são relevantes para serem avaliados, e selecionar a técnica mais apropriada para executar a avaliação. Foi utilizada OOPS! (*Ontology Pitfall*

Scanner – Escaner de Falhas Ontológicas)¹⁹, um serviço *on line* que oferece a detecção automática de falhas que afetam a estrutura, funcionalidade e usabilidade das ontologias (Poveda-Villalón et al., 2012).

6.5.1. Avaliação com OOPS!

As Figuras 7 e 8 mostram a quantidade de falhas encontradas em cada versão das Ontologias Ccon e Fire, respectivamente. A quantidade de falhas é reduzida, da primeira à última versão. Na versão final de ambas as ontologias, poucas falhas de menor importância persistem. Tais falhas de menor importância são do tipo “ausência de comentários nas propriedades”.

6.5.2. Avaliação por especialistas no domínio de conhecimento

Apenas sete (7) especialistas responderam ao questionário de dinâmica de vegetação do Cerrado e cinco (5) responderam ao questionário sobre a ontologia do fogo.

6.5.2.1. Respostas sobre Ccon

Um dos especialistas comentou que o modelo deve ser repensado, dizendo que o conceito de espécies está faltando, enquanto outro especialista comentou que está faltando o termo “taxa de mortalidade”, embora os dois termos estivessem presentes na ontologia. O especialista continua seu comentário apontando que há termos não muito bem explicados tais como “taxa de natalidade” e “diferença”. Outro especialista comentou que é redundante incluir ambos os termos “tamanho” e “densidade” de uma população.

Foi comentado que “tamanho populacional” e “densidade populacional” não deveriam ser subclasses de “dinâmica populacional”, e que isso deveria ser reconsiderado, e também devem ser revisadas as relações entre “Densidade” e “Densidade populacional”, e entre “número de indivíduos” e “tamanho populacional”. Outros conceitos que estão faltando são: características do solo, outros tipos de fisionomias, tais como campos úmidos, florestas de galerias, florestas decíduas e semi-decíduas. Foi sugerido dividir a classe “diversidade” nos seguintes subtipos: diversidade estrutural, funcional e composicional e executar algumas mudanças em “índices de diversidade”.

¹⁹ <http://oeg-lia3.dia.fi.upm.es/oops/index.jsp>

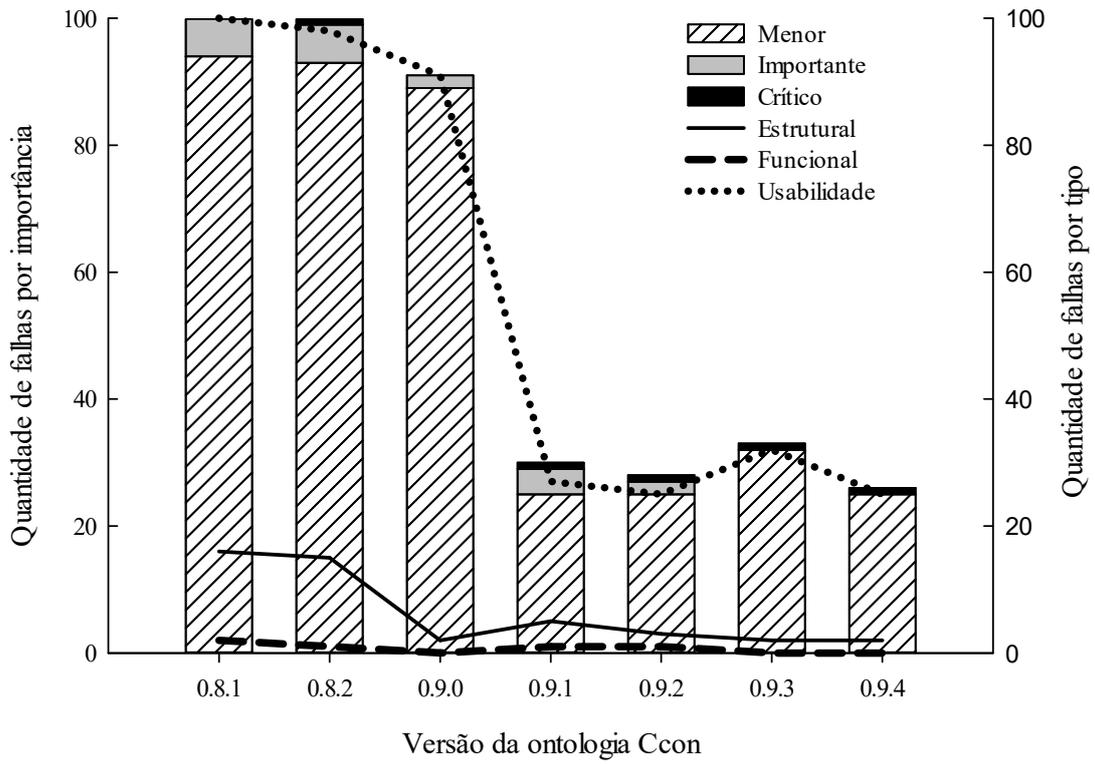


Figura 7. Quantidade de falhas por importância e por tipo, encontradas em cada versão da Ontologia Ccon usando OOPS!.

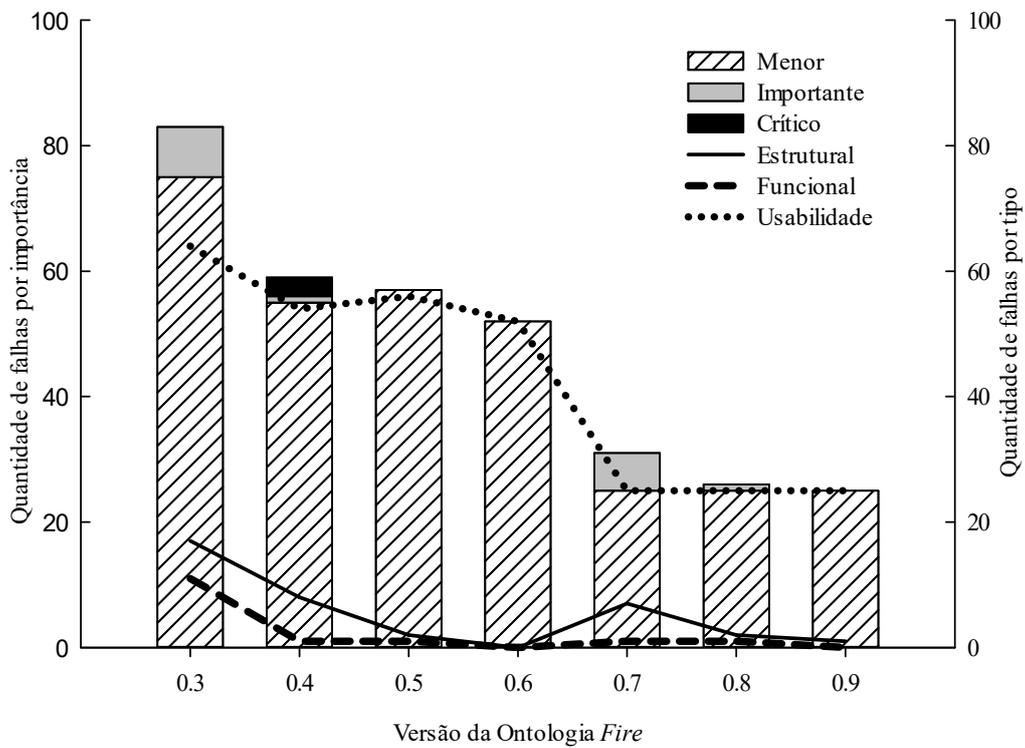


Figura 8. Quantidade de falhas por importância e por tipo, encontradas em cada versão da Ontologia Fire usando OOPS!.

Houve comentários sobre alterar algumas propriedades, e também a forma como as subclasses estão organizadas, uma vez que em casos particulares é conceitualmente inapropriado posicioná-los da maneira que estão, tal como o termo “Estação” como uma subclasse do termo “Ambiente”. Quando os especialistas foram perguntados sobre o quão apropriado eram os termos usados na ontologia, a maior parte das respostas foi “apropriado” (57,14%), seguido por “altamente apropriado” (28,57%) e “neutro” (14,29%) (**Figura 9**). Quando perguntados sobre quão apropriadas as eram as relações, isto é, as propriedades de objetos da ontologia, a maior parte dos especialistas respondeu “apropriado” (57,10%), seguido por “inapropriado” (28,60%) e “altamente apropriado” (14,30%) (**Figura 10**). Com relação à pergunta se os conceitos usados são suficientes para descrever a dinâmica de comunidades de plantas lenhosas do Cerrado, 28,60% dos especialistas discordaram, enquanto 28,60% concordaram e 42,90% concordaram totalmente (**Figura 11**).

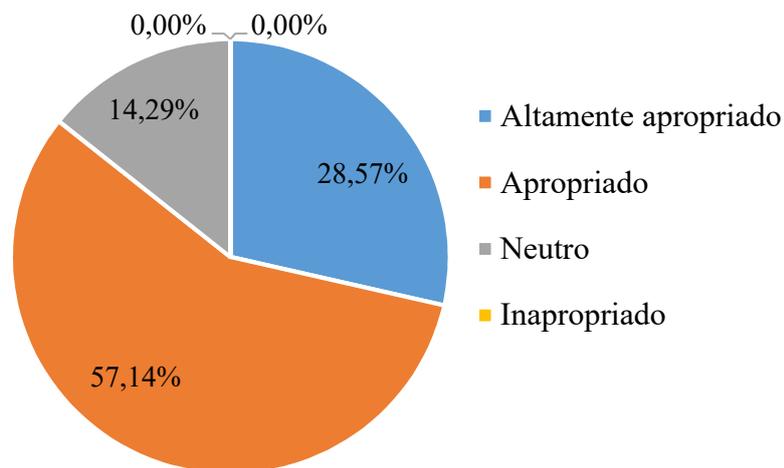


Figura 9. Quão apropriados são os conceitos usados nesta ontologia (Ccom)?

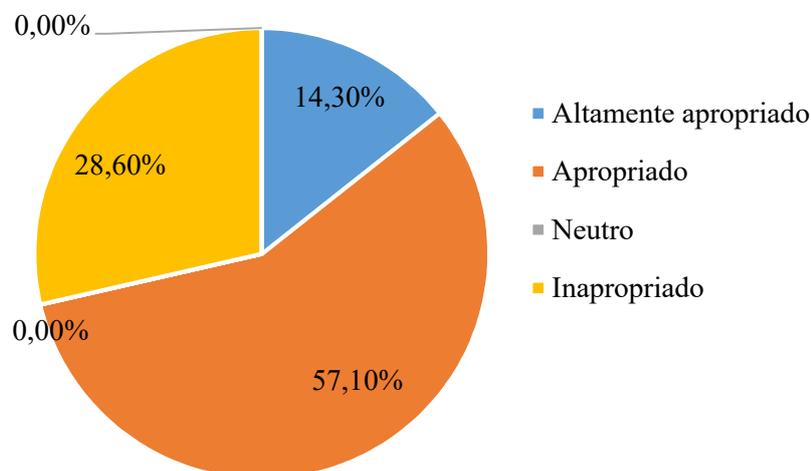


Figura 10. Quão apropriadas são as relações entre os conceitos, nesta ontologia (Ccon)?

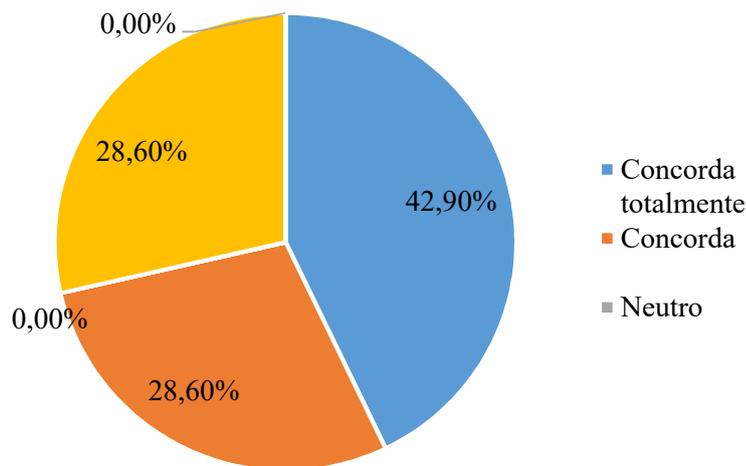


Figura 11. Os termos e conceitos usados são suficientes para descrever a dinâmica de comunidades de plantas do Cerrado?

6.5.2.2. Respostas sobre *Fire*

Hoveram alguns comentários em relação a alguns conceitos usados na ontologia do fogo. Os comentários mais relevantes foram para adicionar mais informação sobre Tempo, para adicionar biomassa de vegetal como fator natural que pode favorecer a ocorrência de fogo e talvez remover “efeito no ecossistema” se não for relevante para o modelo. Também foi apontado que topografia não é relevante para a probabilidade de ocorrência de fogo, enquanto que proximidade a estradas e a áreas de pasto de baixa qualidade poderiam ser incluídas.

Quando perguntados se os conceitos apresentados descrevem corretamente as características de um evento de fogo, 40,0% dos especialistas concordaram, 40,0% concordaram totalmente e 20,0% foram neutros (**Figura 12**). Quando perguntados o quanto apropriado são os conceitos usados, 40,0% dos especialistas responderam que são apropriados e 60,0% responderam altamente apropriados (**Figura 13**). Quando perguntados sobre a adequação das relações, 60,0% dos especialistas respondeu que as relações são apropriadas e 40,0% respondeu que as relações apresentadas são altamente apropriadas (**Figura 14**). Em relação se os conceitos usados são suficientes para descrever a ocorrência de fogo na vegetação do Cerrado, 20,0% dos especialistas foram neutros, enquanto que 40,0% concordaram e 40,0% concordaram totalmente (**Figura 15**).

A descrição completa das ontologias de domínio pode ser encontrada nos apêndice A e B.

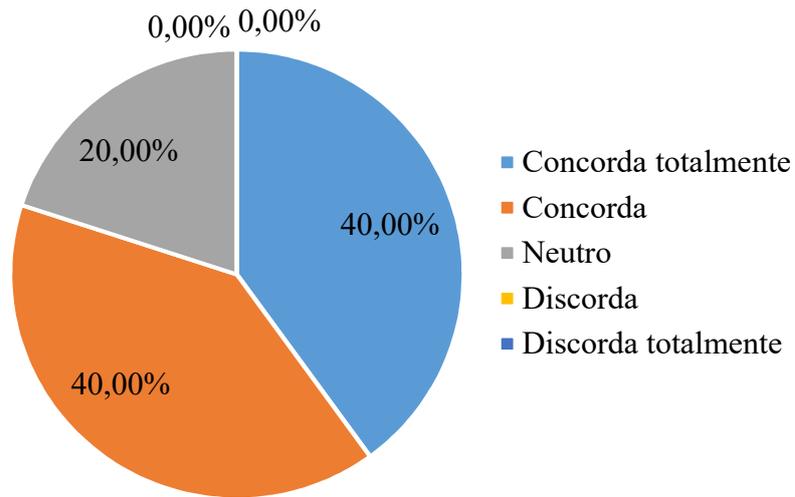


Figura 12. A ontologia representa corretamente conceitos que descrevem as características de um evento de fogo.

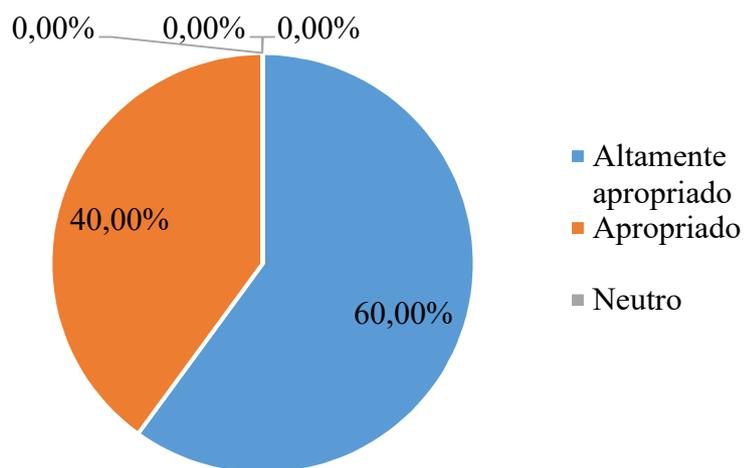


Figura 13. Quão apropriados são os conceitos usados na ontologia?

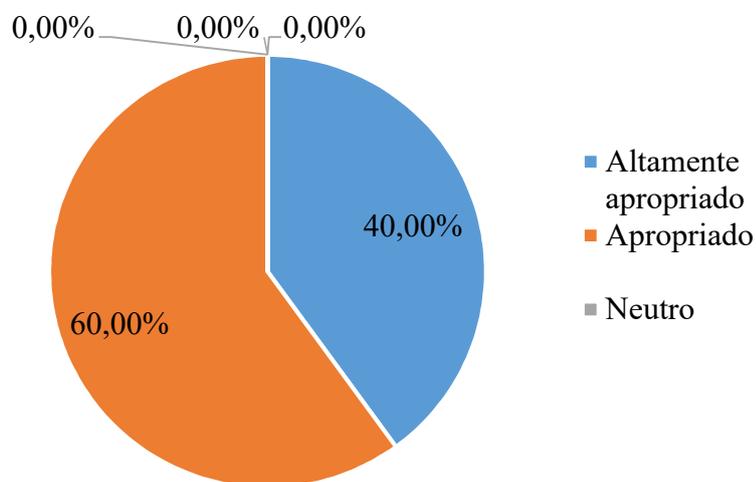


Figura 14. Quão apropriadas são as relações entre os conceitos, nesta ontologia (Fire)?

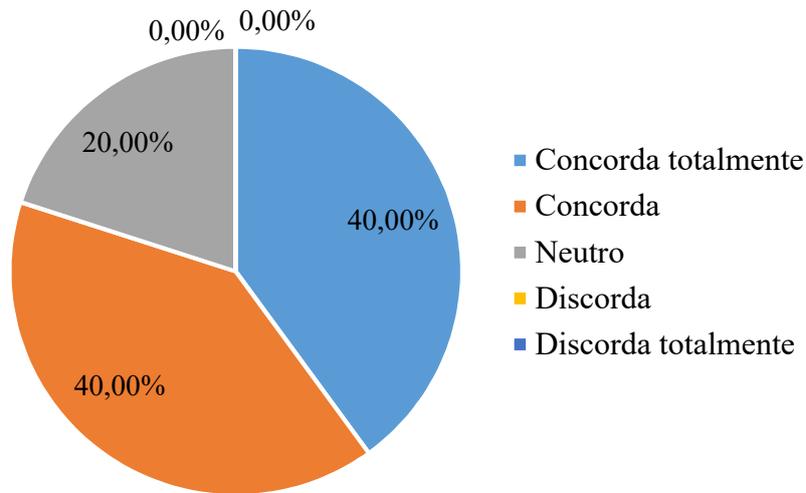


Figura 15. Os termos e conceitos usados são suficientes para descrever ocorrência de fogo no Cerrado?

6.6. Exploração do protótipo usando MAP4RDF

Para ilustrar esse mecanismo foram construídos seis modelos qualitativos usando o programa *DynaLearn*. Todos os seis modelos apresentam as entidades denominadas “*Wood Layer*” (Camada lenhosa) e “*Ground Layer*” (Camada rasteira), e ambas estão associadas as quantidades denominadas “*Mortality rate*” (Taxa de mortalidade), “*Recruitment rate*” (Taxa de recrutamento), “*Number of Individuals*” (Número de indivíduos) e “*Density*” (Densidade). Além dessas quatro quantidades os modelos podem incluir um ou mais fatores ambientais (temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, risco de fogo e água no subsolo), como apresentado na **Tabela 5**. O modelo completo apresenta esses cinco fatores ambientais afetando as taxas de mortalidade e recrutamento de plantas da camada lenhosa e da camada rasteira.

Tabela 5. Fatores ambientais incluídos em cada modelo

Model name	Quantities included* (Environmental variables)
Veg dyn only precipitation	<i>Precipitation</i>
Veg dyn only temperature	<i>Temperature</i>
Veg dyn only relative humidity	<i>Relative humidity</i>
Veg dyn only fire risk	<i>Fire risk</i>
Veg dyn complete	<i>Temperature; Relative humidity; Precipitation; Fire risk</i>
Veg dyn underground water and fire risk	<i>Underground water; Fire risk</i>

* Todos os modelos incluem quantidades relacionadas a vegetação (espécies, número de indivíduos, mortalidade etc).

Após obter todos os modelos e conjuntos de dados (dados meteorológicos, ocorrência de queimadas e dinâmica de vegetação do Cerrado) armazenados no servidor, foi realizada a geração das ligações entre os modelos e dados. Foi utilizado o terminal do SPARQL (SPARQL *endpoint*) para executar uma consulta de construção (*construct query*) e, assim, estabelecer as ligações *owl:sameAs*. Assim, usando essa consulta o sistema associa as variáveis presentes na base de dados com as variáveis presentes nos modelos. Por exemplo, o usuário quer inspecionar a variável *Precipitação* que está presente no conjunto de dados meteorológicos e está ligada apenas com a quantidade *Precipitação* presente nos modelos *Veg dyn only precipitation* e *Veg dyn complete* (**Figura 16**), assim, ambos os modelos são apresentados ao usuário. Embora as variáveis *Temperatura* e *Umidade relativa* não foram mencionadas pelo usuário, essas duas quantidades estão incluídas no modelo *Veg dyn complete*.

Agora suponha que o usuário queira analisar os efeitos da variável *risco de fogo* que está presente nos dados de ocorrência de fogo, que está ligada a quantidade *Fire risk* encontrada nos modelos *Veg dyn only fire risk* e *Veg dyn underground water and fire risk* (**Figura 17**). Nesse caso a situação é diferente, uma vez que não há dados disponíveis nas bases de dados para indicar valores para a quantidade *Underground water* encontrada no modelo *Veg dyn underground water and fire risk*. Entretanto, essa quantidade apresenta assinalada o valor qualitativo *<critic, increasing*, como ilustrado na **Figura 17**. Desse modo, é possível executar simulações com o modelo uma vez que todas as quantidades apresentam os valores iniciais definidos seja pela base de dados numérica ou pelo aplicativo ou pelo usuário.

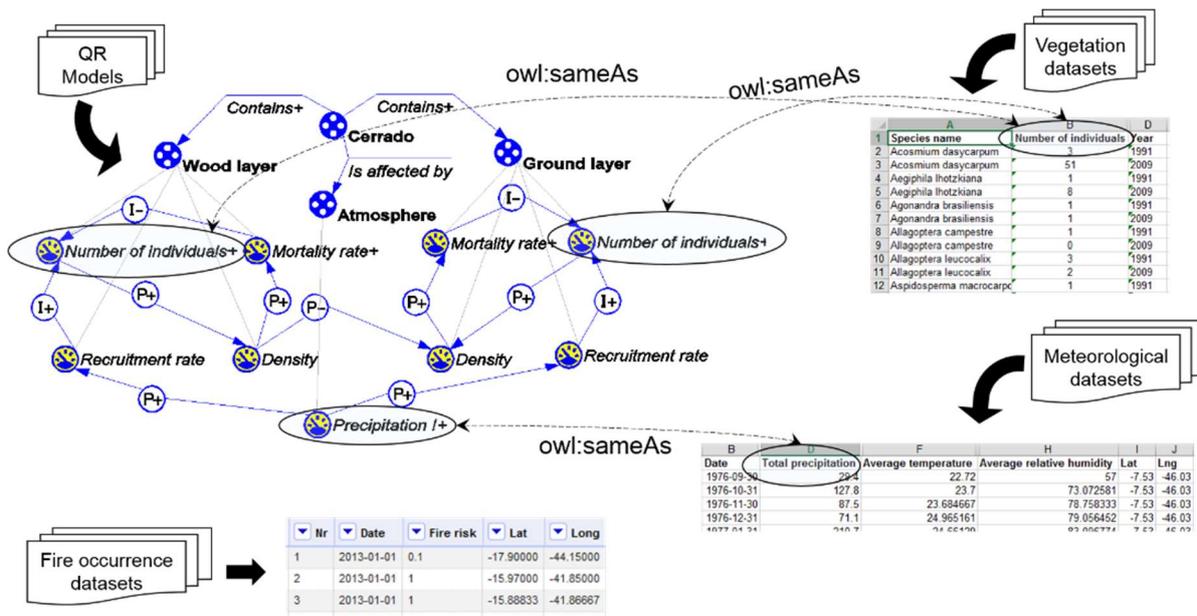


Figura 16. Ilustração de como as ligações "owl: sameAs" geradas entre os conjuntos de dados e um modelo, neste caso, a variável "Número de indivíduos" é encontrada no "conjunto de dados de vegetação" e como uma quantidade no modelo. Além disso, a variável "precipitação" encontrada no "conjunto de dados meteorológicos" também é encontrado como uma quantidade no modelo. Por outro lado, este modelo não tem ligações "owl: sameAs" com "conjunto de dados de ocorrência de incêndio", por causa da falta de variáveis comuns entre eles.

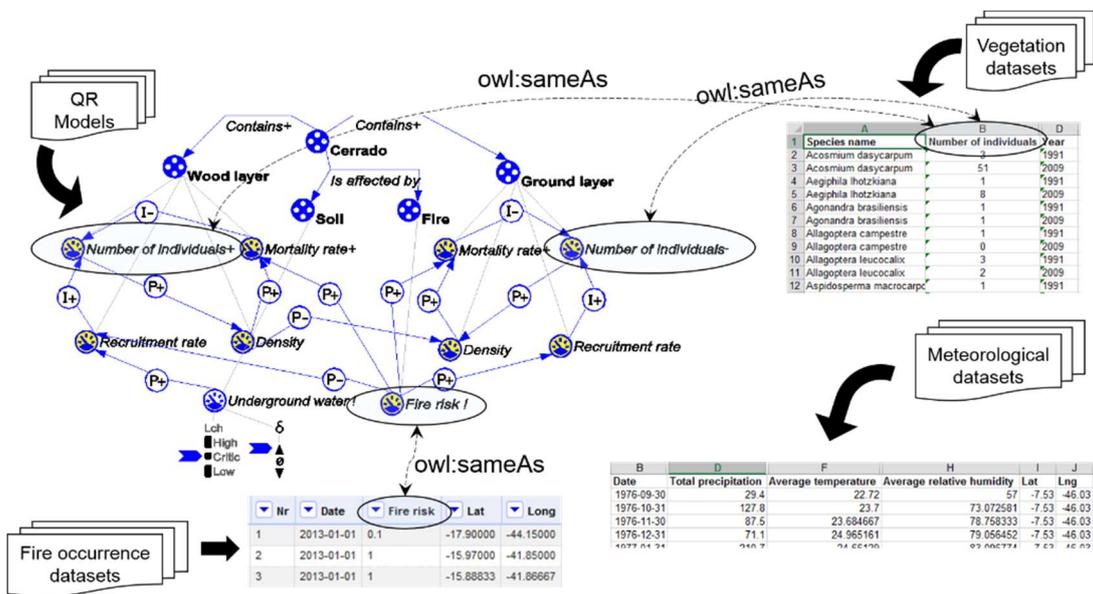


Figura 17. Links "owl: sameAs" gerados entre o modelo "underground água e fogo risco Veg dyn" e conjuntos de dados. Não há ligações com dados meteorológicos e a variável água subterrânea não tem correspondência com qualquer conjunto de dados.

7. DISCUSSÃO

Esse estudo foi baseado no trabalho realizado por *GeoLinkedData.es*, que publicaram diversas fontes de informação pertencentes ao Instituto Geográfico Nacional de España (IGN) (Vilches-Blázquez *et al* 2013). A capacidade de interoperar, navegar e explorar os dados inspiraram este trabalho para usar dados ecológicos heterogêneos de comunidades de plantas do Cerrado brasileiro em escala geo-espacial, além disso, como mostrado neste trabalho, fazer a ligação entre esses dados com modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativo usando técnicas semânticas. Assim, o sistema é capaz de selecionar um modelo apropriado baseado no conjunto de dados selecionados ou filtrados pelo usuário.

A implementação da capacidade de selecionar modelos qualitativos segue quatro princípios: (a) se há ao menos uma variável em comum entre os dados agregados numéricos selecionados pelo usuário e um modelo no repositório, a ligação *owl:sameAs* é gerada e o modelo é selecionado e disponibilizado ao usuário como um modelo candidato para simulação; (b) se o usuário selecionar uma variável nos dados e essa variável é uma quantidade no modelo, que é então selecionado, e além disso, o modelo inclui uma ou mais quantidades que não foram filtradas pelo usuário, mas também são encontradas na base de dados, então essas quantidades extra tem também valores qualitativos assinalados para que se possa executar simulações; (c) se numa situação similar àquela descrita no item “b” ocorre, mas as quantidades extra não são encontradas na base de dados, a simulação ainda é possível se um valor qualitativo é designado para essas quantidades extra, e (d) se o usuário seleciona uma variável da base de dados que não existe como uma quantidade em nenhum modelo, então nenhum modelo é selecionado do repositório.

A atual versão da aplicação apresenta problemas técnicos, mas deve ser capaz de seguir esses princípios, e selecionar um ou mais modelos prontos para simulação. Entretanto, a execução da simulação e a interpretação de seus resultados ainda são realizados manualmente. Os principais problemas técnicos encontrados dizem respeito a ao fraco desempenho das ferramentas em tratar uma grande quantidade de dados. Além disso, houve dificuldades também na classificação de características.

Desse modo, os resultados apontados aqui podem ser considerados como um passo inicial para a associação entre conjuntos de dados numéricos e modelos qualitativos.

Um importante iniciativa semelhante pode ser encontrada no trabalho de Karl et al. (2013), que para demonstrar o potencial de uma base de dados de estudos que reportam coordenadas geográficas criaram um mecanismo de busca de literatura, *JournalMap* (www.journalmap.org), que habilita a busca geosemântica. Karl et al. (2013) afirmam ainda que a busca geosemântica pode ainda facilitar a criação de novo conhecimento ecológico em diferentes escalas identificando conjunto de estudos locais, cujos resultados poderiam ser agregados em busca de padrões em larga escala. De forma semelhante este trabalho buscou disponibilizar semanticamente dados de diferentes estudos de vegetação lenhosa do bioma Cerrado realizados em diferentes localidades.

Trabalho em andamento investiga um método para selecionar e executar simulações automaticamente com a aplicação.

Com relação aos modelos qualitativos abordados nesse trabalho, foram explorados conceitos importantes incluídos nos modelos. De acordo com Souza (2010), estudos têm demonstrado que o cerrado *sensu stricto* protegido do fogo não é uma vegetação em equilíbrio e apresenta uma natureza sucessional. A simulação do modelo aponta para uma redução da vegetação lenhosa como consequência do aumento da queimada. Esse comportamento pode ser corroborado com o aumento esperado em densidade devido à supressão do fogo, como apontam alguns estudos (Henriques and Hay, 2002; Henriques, 2005; Hoffmann and Biology, 1999; Moreira, 2000) o que indica, portanto, uma comunidade em desequilíbrio (Henriques and Hay, 2002). Souza (2010) observa ainda que em resumo, os resultados obtidos que apontam que o cerrado *sensu stricto* é uma vegetação em desequilíbrio (Sankaran *et al.* 2008) são: (1) taxa de imigração de espécies maior que a taxa de extinção; (2) crescimento populacional líquido positivo da maior parte das espécies; (3) taxas de recrutamento de indivíduos, caules e área basal maiores que as taxas de mortalidade. Tais informações são úteis para que em trabalhos futuros o modelo possa ser refinado e incrementado com mais variáveis, bem como com configurações e condições relevantes.

House *et al.* (2003) discutem ainda que as plantas lenhosas podem inicialmente facilitar a produção do estrato herbáceo graminoso, melhorando o microclima, solo e nutrientes; no entanto, quando a quantidade ou densidade de árvores chega a um certo ponto, as plantas lenhosas podem afetar negativamente gramíneas. Os autores continuam afirmando que, nesse cenário, as interações entre as formas de vida se alteram de competição assimétrica (gramíneas sobre árvores) para facilitação (árvores sobre gramíneas) e para a competição assimétrica no outro sentido (árvores sobre

gramíneas). Observam ainda que distúrbios, tais como incêndio, pastagem e herbivoria podem interromper essa progressão e fazê-la parar em uma certa proporção de árvores/gramíneas ou reverter para uma outra razão entre esses tipos de planta. Fatores climáticos e edáficos influenciam as taxas e dinâmica de transições entre os vários estados da relação árvores/gramíneas e restringir os tipos de relações árvores/gramíneas que podem ser possíveis. Essas forças estruturantes, que operam sobre uma gama de escalas espaciais e temporais, não são passíveis de avaliação em de pequena escala, ou experimentos de campo de curto prazo (House *et al.*, 2003). Isso indica a necessidade de avaliações em grande escala e de longo prazo, mas também demonstra uma vantagem que modelos de simulação podem ter. É importante observar que nos modelos desenvolvidos nesse trabalho os distúrbios e fatores climáticos atuam influenciando as taxas conforme apontado por House *et al.* (2003).

Salles and Bredeweg (2006) construíram um modelo qualitativo para explorar e simular a hipótese sucessional do Cerrado. Nesse modelo os autores representaram 12 tipos de comunidades de vegetação do cerrado. Os autores demonstraram que simulações com esse modelo mostram as transições entre os tipos de comunidades causadas por medidas de controle na frequência do fogo como previsto pela hipótese de sucessão do Cerrado. O modelo aqui descrito apresenta um conjunto de variáveis um pouco diferente do modelo apresentado por Salles and Bredeweg (2006). A escolha das variáveis a serem incluídas nesse modelo baseou-se naquelas mais comumente utilizadas em trabalhos científicos que abordam a dinâmica de comunidades vegetais do Cerrado, especialmente de comunidades de vegetação lenhosa. Pois o objetivo desse trabalho também era de criar ligações entre as variáveis encontradas em trabalhos científicos e as quantidades encontradas no modelo, isto é, ligações do tipo *owl:sameAs*.

Portanto, os modelos qualitativos fornecem uma representação de duas camadas de vegetação do Cerrado: (1) o estrato herbáceo-graminoso, também conhecido como camada rasteira ou simplesmente camada de gramíneas, é constituído por formas de vida tais como plantas herbáceas e gramíneas e (2) o estrato lenhoso, também conhecido como camada lenhosa, formadas por árvores médias e grandes. Quantidades foram representadas como números de indivíduos, taxas de mortalidade e recrutamento e biomassa para essas três comunidades diferentes. Além disso, também foram considerados fatores ambientais, como chuva e ocorrência de incêndio, afetando as taxas de recrutamento e mortalidade, respectivamente.

Hoffmann and Jackson (2000) observaram que uma redução da duração da estação chuvosa pode reduzir a produtividade primária em savanas e, portanto, a produção de biomassa, assim, mudanças nas chuvas durante a estação chuvosa pode resultar em impactos em processos ecológicos importantes. Os mesmos autores afirmam que essas mudanças podem se tornar mais frequentes ao se converter savanas em pastagens causando um impacto negativo sobre a regeneração de árvores, de modo que uma redução na precipitação causada por alterações antrópicas na vegetação reduz a cobertura de arbórea. Tais efeitos podem ser acelerados em ambientes de savanas devido a reações climáticas.

Além disso, Silva *et al.* (2008) observaram em seu estudo que a mudança climática pode iniciar a expansão de florestas de galeria no cerrado e, conseqüentemente, efeitos de retroalimentação, tais como nutrientes e supressão de incêndio podem favorecer a expansão de florestas de galeria em savana. As simulações dos modelos mostram também a possibilidade de aumento no número de indivíduos da vegetação lenhosa sob condições de mudanças climáticas, sejam elas de aumento de pluviosidade ou redução de queimadas.

Klink and Machado (2005) argumentam que a elaboração de políticas deve fazer uso dos conhecimentos existentes sobre as espécies, a diversidade de habitat e funcionamento dos ecossistemas, porque as mudanças na paisagem têm implicações de longo prazo sérias para a ocorrência de incêndios incontroláveis, para a água e ciclagem de carbono e possivelmente até mesmo para a mudança no tempo. A fim de entender melhor os sistemas de savana, House *et al.* (2003) afirmam que os avanços conceituais e teóricos podem ser conseguidos usando técnicas de análise de metadados e modelagem. Para Neto (2005), modelagem qualitativa mostrou-se capaz de fazer previsões válidas apesar da escassez de dados e observações empíricas em um grande número de variáveis nos modelos desenvolvidos pelo autor. O presente trabalho contribui tanto para a modelagem de sistemas savânicos, para entender melhor a dinâmica da vegetação do Cerrado, como modelos que permitem entender melhor a estrutura e o comportamento e como as variáveis ambientais afetam esses sistemas.

Entre as possibilidades futuras buscamos cada vez mais especializar os modelos qualitativos, produzir modelos para fenômenos ecológicos específicos, que representem sistemas em diferentes escalas e comunidades com estruturas e funcionamento diferentes associados a dados climáticos diversos e por fim, poder compará-los. Ainda para trabalhos futuros pretende-se incorporar conceitos ecológicos que demonstram que

a vegetação do Cerrado funciona como um um complexo de biomas, distribuídos em mosaico. de comunidades pertencentes a um gradiente de formações ecologicamente relacionadas, que vai de campo limpo a cerradão (Coutinho, 2006). Pretendemos ainda realizar a ampliação de bases de dados, aprimorar a espacialização de dados, incorporar mais dados meteorológicos, de solo, e de queimadas.

O presente estudo descreve o uso de técnicas semânticas para criar ligações entre bases de dados e modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativo. Considerando que fornecer estruturas conceituais para expressar o conhecimento do domínio dos sistemas naturais não é nada trivial, e que as ciências dos sistemas naturais precisam abordar os domínios mais complexos e ainda estão longe de uma aceitação geral (Villa *et al* 2009), o presente trabalho constitui uma contribuição para a adoção progressiva de abordagens orientadas por ontologias.

8. CONCLUSÕES

Nesse trabalho investigamos o uso de padrões de modelos, isto é, de estruturas genéricas que ocorrem de suas formas mais básicas às mais avançadas nos mais diversos sistemas dinâmicos, mas especialmente àqueles que representam fenômenos ecológicos.

Nesse estudo exploramos a abordagem de dados ligados para ligar modelos ecológicos de Raciocínio qualitativo com bases de dados de dinâmica e ocorrência de espécies de plantas lenhosas do Cerrado brasileiro, ocorrência de queimadas no Cerrado, informações geográficas, dados meteorológicos disponibilizados por instituições governamentais e estudos científicos. Foi seguida uma metodologia baseada na abordagem de *Dados Geoligados* com o objetivo de investigar a aplicação dos princípios de dados ligados ao domínio da ecologia.

De acordo com as avaliações com “OOPS!” e com os especialistas, as Ontologias construídas mostraram-se satisfatórias para desempenhar os objetivos propostos.

Este trabalho contribui para:

- I. Formalizar em ontologias conhecimento sobre o bioma Cerrado, dinâmica de espécies de plantas lenhosas do Cerrado, e regimes de fogo;
- II. Enriquecer semanticamente conjuntos de dados sobre plantas lenhosas do Cerrado, ocorrência de queimadas, dados meteorológicos, e mapas de solos, vegetação, clima e cenários de desmatamento;
- III. Criar ligações entre dados de diferentes estudos de diferentes locais adicionando informações geo-espaciais em dados de ocorrência e abundância de espécies de plantas lenhosas do Cerrado;
- IV. Possibilitar um método alternativo, baseado em tecnologias semânticas, para busca de padrões de biodiversidade;
- V. Possibilitar a publicação e ligação de dados de biodiversidade, não apenas em termos de ocorrência de espécies, mas também em termos de número de indivíduos em diferentes períodos de tempo, isto é, a variação no tamanho de populações e seu monitoramento de acordo com as condições e variações ambientais;
- VI. Criar ligações entre ocorrência de espécies, variáveis ambientais tais como tipos de solo, temperatura, precipitação, eventos de queimadas e desmatamento e modelos ecológicos de Raciocínio Qualitativo, que podem

ser usados para simulações e no suporte de predições e explicações no comportamento de comunidades de plantas lenhosas do Cerrado.

Os tópicos abordados neste trabalho têm o potencial de impulsionar ambas as aplicações de tecnologias de dados geográficos e estatísticos ligados em novas áreas, e abrir novas perspectivas para a pesquisa envolvendo o manejo, integração e uso de dados ecológicos.

Trabalhos futuros incluem a validação dos modelos qualitativos utilizando dados e séries históricas através de testes de aderência. Além disso, será buscado o aprimoramento das ontologias construídas e a construção de novas ontologias, que permitirão ampliar a base de dados utilizados para o enriquecimento de modelos qualitativos, a partir dos quais será possível explorar diferentes hipóteses sobre a convivência entre os estratos lenhosos e graminóides em comunidades de Cerrado.

REFERÊNCIAS

- Anjos, B. V., Salles, P., 2006. **Modelagem em raciocínio qualitativo sobre degradação de vegetação ripária em microbacias semi-urbanizadas do Cerrado**. Rev. Eletrônica do Mestr. em Educ. Ambient. 17, 90–112.
- Aquin, M., Gangemi, A., Motta, E., Dzbor, M., Haase, P., Erdmann, M., Keynes, M., Germany, K., D'Aquin, M., 2009. **NeOn Tool Support for Building Ontologies by Reuse**. Framework 3–4.
- Atemezing, G., Corcho, O., Garijo, D., Mora, J., Poveda-villalón, M., Rozas, P., Vila-Suero, D., Villazón-Terrazas, B., 2011. **Transforming meteorological data into Linked Data**. Semant. Web 4, 285–290.
- Bard, J.B.L., Rhee, S.Y., 2004. **Ontologies in biology: design, applications and future challenges**. Nat. Rev. Genet. 5, 213–222. doi:10.1038/nrg1295
- Berners-lee, T.I.M., Lee, T., Hendler, J., Lassila, O.R.A., Berners-lee, T.I.M., Hendler, J., Lassila, O.R.A., 2001. **The Semantic Web**. Sci. Am. 34–43.
- Bredeweg, B., Bouwer, A., Jellema, J., Bertels, D., Linnebank, F., Liem, J., 2007. **Garp3: a new workbench for qualitative reasoning and modelling**, in: K-CAP '07: Proceedings of the International Conference on Knowledge Capture. pp. 183–184. doi:http://doi.acm.org/10.1145/1298406.1298445
- Bredeweg, B., Liem, J., Beek, W., Linnebank, F., Gracia, J., Lozano, E., Wißner, M., Bühling, R., Salles, P., Noble, R., Zitek, A., Borisova, P., Mioduser, D., 2013. **DynaLearn — An Intelligent Learning Environment for Learning Conceptual Knowledge**. AI Mag. 34, 46–65.
- Bredeweg, B., Salles, P., Bouwer, A., Liem, J., Nuttle, T., Cioaca, E., Nakova, E., Noble, R., Caldas, A.L.R., Uzunov, Y., Varadinova, E., Zitek, A., 2008. **Towards a structured approach to building qualitative reasoning models and simulations**. Ecol. Inform. 3, 1–12. doi:10.1016/j.ecoinf.2007.02.002
- Brilhante, V., 2005. **Ecolingua: a formal ontology for data in ecology**. J. Brazilian Comput. Soc. 11, 61–78.
- Buttigieg, P.L., Morrison, N., Smith, B., Mungall, C.J., Lewis, S.E., 2013. **The environment ontology: contextualising biological and biomedical entities**. J. Biomed. Semantics 4, 1–9. doi:10.1186/2041-1480-4-43
- Coutinho, L., 1982. **Ecological effects of fire in Brazilian cerrado**. Ecol. Trop. savannas.
- Coutinho, L., 1978. **O conceito de cerrado**. Rev. Bras. Botânica 17–23.
- Coutinho, L.M., 2006. **O conceito de bioma**. Acta Bot. Brasilica 20, 13–23. doi:10.1590/S0102-33062006000100002
- Cyganiak, R., Reynolds, D., 2013. **The RDF Data Cube Vocabulary** [WWW Document]. URL <http://www.w3.org/TR/vocab-data-cube/>
- Cyganiak, R., Wood, D., Lanthaler, M., 2014. **RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax** [WWW Document]. W3C Recomm. 25 Febr. 2014. URL <https://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf11-concepts-20140225/> (accessed 2.1.16).
- Falkenhainer, B., Forbus, K.D., 1991. **Compositional Modeling: finding the right**

- model for the job.** *Artif. Intell.* 51, 95–143. doi:10.1016/0004-3702(91)90109-W
- Felfili, J.M., da Silva Júnior, M.C., Sevilha, A.C., Fagg, C.W., Teles Walter, B.M., Nogueira, P.E., Rezende, A.V., Silva Júnior, M.C., Sevilha, A.C., Fagg, C.W., Teles Walter, B.M., Nogueira, P.E., Rezende, A.V., 2004. **Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil.** *Plant Ecol.* 175, 37–46. doi:10.1023/B:VEGE.0000048090.07022.02
- Finin, T., Sachs, J., 2004. **Will the Semantic Web Change Science ?** *Science.*
- Forbus, K.D., 1984. **Qualitative Process Theory.** *Artif. Intell.* 24, 85–168.
- Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M., Corcho, O., 2004. **Ontological engineering: with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web.** Springer. doi:10.1007/b97353
- Goodland, R., 1971. **A Physiognomic Analysis of the Cerrado'Vegetation of Central Brasil.** *J. Ecol.* 59, 411–419.
- Goulart, F.F., Salles, P., Machado, R.B., 2013. **How may agricultural matrix intensification affect understory birds in an Atlantic Forest landscape? A qualitative model on stochasticity and immigration.** *Ecol. Inform.* 18, 93–106. doi:10.1016/j.ecoinf.2013.06.010
- Green, J.L., Hastings, A., Arzberger, P., Ayala, F.J., Cottingham, K.L., Cuddington, K.I.M., Davis, F., Dunne, J. a., Fortin, M., Gerber, L., Neubert, M., 2005. **Complexity in Ecology and Conservation: Mathematical, Statistical, and Computational Challenges.** *Bioscience* 55, 501–510.
- Grimm, V., 1994. **Mathematical models and understanding in ecology.** *Ecol. Modell.* 76, 641–651.
- Gruber, T.R., 1993. **A translation approach to portable ontology specifications.** *Knowl. Acquis.* 5, 199–220. doi:10.1.1.101.7493
- Haefner, J.W., 2005. **Modeling biological systems: Principles and applications.** Chapman & Hall, New York. doi:10.1007/0-387-25012-3_1
- Henriques, R.P.B., 2005. **Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma do Cerrado,** in: Scariot, A., Sousa-Silva, J.C., Felfili, J.M. (Eds.), *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade E Conservação.* Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, pp. 73–92.
- Henriques, R.P.B., Hay, J.D., 2002. **Patterns and Dynamics of Plant Populations.** *Cerrados os Brazil Ecol. Nat. Hist. a Neotrop. savanna* 140–158.
- Higgins, S.I.S., Bond, W.W.J., Trollope, W.W.S.W., 2000. **Fire, resprouting and variability: a recipe for grass–tree coexistence in savanna.** *J. Ecol.* 88, 213–229.
- Hobbs, J.R., Pan, F., 2006. **Time Ontology in OWL** [WWW Document]. URL <http://www.w3.org/TR/owl-time/>
- Hoffmann, W.A., Biology, E., 1999. **Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections.** *Ecology* 80, 1354–1369.
- Hoffmann, W.A., Jackson, R.B., 2000. **Vegetation–Climate Feedbacks in the Conversion of Tropical Savanna to Grassland.** *J. Clim.* 13, 1593–1602. doi:10.1175/1520-0442(2000)013<1593:VCFITC>2.0.CO;2
- House, J.I., Archer, S., Breshears, D.D., Scholes, R.J., 2003. **Conundrums in mixed**

- woody-herbaceous plant systems.** *J. Biogeogr.* 30, 1763–1777. doi:10.1046/j.1365-2699.2003.00873.x
- Jeltsch, F., Weber, G.E., Grimm, V., 2000. **Ecological buffering mechanisms in savannas: A unifying theory of long-term tree-grass coexistence.** *Plant Ecol.* 161, 161–171.
- Jones, M.B., Schildhauer, M.P., Reichman, O.J., Bowers, S., 2006. **The New Bioinformatics: Integrating Ecological Data from the Gene to the Biosphere.** *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37, 519–544. doi:10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110031
- Karl, J.W., Herrick, J.E., Unnasch, R.S., Gillian, J.K., Ellis, E.C., Lutters, W.G., Martin, Laura J., 2013. **Discovering Ecologically Relevant Knowledge from Published Studies through Geosemantic Searching.** *Bioscience* 63, 674–682. doi:10.1525/bio.2013.63.8.10
- Kansou, K., Bredeweg, B., 2014. **Hypothesis assessment with qualitative reasoning: Modelling the Fontestorbes fountain.** *Ecol. Inform.* 19, 71–89. doi:10.1016/j.ecoinf.2013.10.007
- Klink, C.A., Klink, C.A., Machado, R.B., Machado, R.B., 2005. **A conservação do Cerrado brasileiro.** *Megadiversidade* 1, 147–155. doi:10.1590/S0100-69912009000400001
- Leão, I.G. de S., 2011. **O uso de modelos de raciocínio qualitativo para investigar a teoria e a dinâmica de metapopulações.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- Lepczyk, C.A., Lortie, C.J., Anderson, L.J., 2008. **An ontology for landscapes.** *Ecol. Complex.* 5, 272–279. doi:10.1016/j.ecocom.2008.04.001
- Liem, J., 2013. **Supporting conceptual modelling of dynamic systems: A knowledge engineering perspective on qualitative reasoning.** PhD Thesis. University of Amsterdam.
- Madin, J.S., Bowers, S., Schildhauer, M., Krivov, S., Pennington, D., Villa, F., 2007. **An ontology for describing and synthesizing ecological observation data.** *Ecol. Inform.* 2, 279–296. doi:10.1016/j.ecoinf.2007.05.004
- Madin, J.S.J., Bowers, S., Schildhauer, M.P., Jones, M.B., 2008. **Advancing ecological research with ontologies.** *Trends Ecol. Evol.* 23, 159–68. doi:10.1016/j.tree.2007.11.007
- Michener, W.K., Beach, J.H.J.H., Jones, M.B., Ludäscher, B., Pennington, D.D.D.D., Pereira, R.S.R.S., Rajasekar, A., Schildhauer, M., 2007. **A knowledge environment for the biodiversity and ecological sciences.** *J. Intell. Inf. Syst.* 29, 111–126. doi:10.1007/s10844-006-0034-8
- Michener, W.K., Jones, M.B., 2012. **Ecoinformatics: supporting ecology as a data-intensive science.** *Trends Ecol. Evol.* 27, 85–93. doi:10.1016/j.tree.2011.11.016
- Ministério do Meio Ambiente - MMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, 2011. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: Monitoramento do bioma Cerrado 2008-2009.** Brasília, DF.
- Miranda, H.S., Sato, M.N., Nascimento Neto, W., Aires, F.S., 2009. **Fires in the**

- cerrado, the Brazilian savanna**, in: *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*, Springer Praxis Books. Springer Berlin Heidelberg, pp. 427–450. doi:10.1007/978-3-540-77381-8_15
- Moreira, A.G., 2000. **Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil**. *J. Biogeogr.* 27, 1021–1029. doi:10.1046/j.1365-2699.2000.00422.x
- Moreira, A.G., 1992. **Fire Protection and Vegetation Dynamics in the Brazilian Cerrado**. PhD Thesis. Harvard University.
- Neto, W.N., 2005. **Modelagem ecológica de queimadas usando Inteligência Artificial**. Tese de Doutorado. University of Brasilia.
- Noy, N.F., McGuinness, D.L., 2001. **Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology**, Stanford Knowledge Systems Laboratory. doi:10.1016/j.artmed.2004.01.014
- Nuttle, T., Bredeweg, B., Salles, P., Neumann, M., 2009. **Representing and managing uncertainty in qualitative ecological models**. *Ecol. Inform.* 4, 358–366. doi:10.1016/j.ecoinf.2009.09.004
- Parekh, V., 2005. **Applying ontologies and semantic web technologies to environmental sciences**. MS Thesis. University of Maryland. doi:10.1108/01435120510596044
- Perry, M., Herring, J., 2012. **OGC GeoSPARQL-A geographic query language for RDF data**, OGC Candidate Implementation Standard.
- Pivello, V.R., Coutinho, L.M., 1996. **A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados**. *For. Ecol. Manage.* 87, 127–138. doi:10.1016/S0378-1127(96)03829-7
- Poveda-Villalón, M., Suárez-Figueroa, M., Gómez-Pérez, A., 2012. Validating Ontologies with OOPS!, in: Teije, A., Völker, J., Handschuh, S., Stuckenschmidt, H., d'Acquin, M., Nikolov, A., Aussenac-Gilles, N., Hernandez, N. (Eds.), **Knowledge Engineering and Knowledge Management SE - 24**, Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, pp. 267–281. doi:10.1007/978-3-642-33876-2_24
- Roitman, I., Felfili, J.M., Rezende, A. V., 2008. **Tree dynamics of a fire-protected cerrado sensu stricto surrounded by forest plantations, over a 13-year period (1991–2004) in Bahia, Brazil**. *Plant Ecol.* 197, 255–267. doi:10.1007/s11258-007-9375-9
- Rykiel, E.J.E.J., 1989. **Artificial intelligence and expert systems in ecology and natural resource management**. *Ecol. Modell.* 46, 3–8.
- Sala, O.E., Lauenroth, W.K., Golluscio, R.A., 1997. **Plant functional types in temperate semi-arid regions**, in: Smith, T.M., Shugart, H.H., Woodward, F. (Eds.), *Plant Functional Types: Their Relevance to Ecosystem Properties and Global Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 217–233.
- Salles, P., 1997. **Qualitative Models in Ecology and their use in Learning Environments**. PhD Thesis. University of Edinburgh.
- Salles, P., Bredeweg, B., 2006. **Modelling population and community dynamics with qualitative reasoning**. *Ecol. Modell.* 195, 114–128. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.11.014

- Salles, P., Bredeweg, B., 2003a. **Qualitative reasoning about Population and Community Ecology**. *AI Mag.* 77–90.
- Salles, P., Bredeweg, B., 2003b. **A Case Study in Collaborative Modelling : Building Qualitative Models in Ecology**, in: *Artificial Intelligence in Education: Shaping the Future of Learning through Intelligent Technologies*. Osaka, Japan, pp. 245–252.
- Salles, P., Bredeweg, B., 1997. **Building Qualitative Models in Ecology**, in: Ironi, L. (Ed.), *Proceedings of the 11th International Workshop on Qualitative Reasoning, QR'97*. Cortana, Italy, pp. 155–164.
- Salles, P., Bredeweg, B., Noble, R., Zitek, A., Souza, A., 2012. **Qualitative Model Patterns : a Toolkit for Learning by Modelling**, in: *Proceedings of the 26th International Workshop on Qualitative Reasoning*. Playa Vista, California, USA.
- Sankaran, M., Hanan, N.P., Scholes, R.J., Ratnam, J., Augustine, D.J., Cade, B.S., Gignoux, J., Higgins, S.I., Le Roux, X., Ludwig, F., Ardo, J., Banyikwa, F., Bronn, A., Bucini, G., Caylor, K.K., Coughenour, M.B., Diouf, A., Ekaya, W., Feral, C.J., February, E.C., Frost, P.G.H., Hiernaux, P., Hrabar, H., Metzger, K.L., Prins, H.H.T., Ringrose, S., Sea, W., Tews, J., Worden, J., Zambatis, N., Roux, X. Le, 2005. **Determinants of woody cover in African savannas**. *Nature* 438, 846–9. doi:10.1038/nature04070
- Sankaran, M., Ratnam, J., Hanan, N.P., Letters, E., 2004. **Tree-grass coexistence in savannas revisited - insights from an examination of assumptions and mechanisms invoked in existing models**. *Ecol. Lett.* 7, 480–490. doi:10.1111/j.1461-0248.2004.00596.x
- Scholes, R., Archer, S., 1997. **Tree-grass interactions in savannas**. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28, 517–544.
- Schwarz, C. V, White, B.Y., 2005. **Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling**. *Cogn. Instr.* 37–41. doi:10.1207/s1532690xci2302
- Silva, L.C.R., Sternberg, L., HARIDASAN, M., Hoffmann, W.A., MIRALLES-WILHELM, F., Franco, A.C., 2008. **Expansion of gallery forests into central Brazilian savannas**. *Glob. Chang. Biol.* 14, 2108–2118. doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01637.x
- Smith, M.K., Welty, C., McGuinness, D.L., 2004. **OWL Web Ontology Language Guide** [WWW Document]. URL <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/> (accessed 2.24.12).
- Souza, A., 2010. **Estrutura e Dinâmica da Vegetação Lenhosa de Cerrado sensu stricto no período de 19 anos, na Reserva Ecológica do IBGE , Distrito Federal , Brasil**. Dissertação de mestrado. University of Brasília.
- Struss, P., 1998. **Artificial intelligence for nature—why knowledge representation and problem solving should play a key role in environmental decision support**. *KI-98 Adv. Artif. Intell.*
- Suárez-figueroa, M.C., 2010. **NeOn Methodology for Building Ontology Networks : Specification , Scheduling and Reuse**. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Madrid.
- Suárez-Figueroa, M.C., Gómez-Pérez, A., 2008. **Building Ontology Networks: How**

- to Obtain a Particular Ontology Network Life Cycle?** Int. Conf. Semant. Syst. ISEMANTICS'08 142–149. doi:ISSN: 0948-695x
- Vilches-Blázquez, L.M., Villazón-Terrazas, B., Corcho, O., Gómez-Pérez, A., 2013. **Integrating geographical information in the Linked Digital Earth.** Int. J. Digit. Earth 1–22. doi:10.1080/17538947.2013.783127
- Vilches-Blázquez, L.M., Villazón-Terrazas, B., Saquicela, V., de León, A., Corcho, O., Gómez-Pérez, A., 2010. **GeoLinked data and INSPIRE through an application case.** Proc. 18th SIGSPATIAL Int. Conf. Adv. Geogr. Inf. Syst. - GIS '10 446. doi:10.1145/1869790.1869858
- Villa, F., Athanasiadis, I.N., Rizzoli, A.E., Emilio, A., Rizzoli, A.E., 2009. **Modelling with knowledge: A review of emerging semantic approaches to environmental modelling.** Environ. Model. Softw. 24, 577–587. doi:10.1016/j.envsoft.2008.09.009
- Vrandečić, D., 2009. **Ontology Evaluation.** Handb. Ontol. 293–313. doi:10.1007/978-3-540-92673-3_13
- W3C – **W3C**, Wikipédia, a enciclopédia livre [WWW Document], 2015. URL <https://pt.wikipedia.org/wiki/W3C> (accessed 11.2.15).
- W3C OWL Working Group, 2012. **OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)** [WWW Document]. URL <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
- W3C OWL Working Group, 2009. **OWL 2 Web Ontology Language Document Overview** [WWW Document]. URL <http://www.w3.org/TR/owl-overview/>
- Walter, H., 1971. **Ecology of Tropical and Subtropical Vegetation.** Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Williams, R.J., Martinez, N.D.N.D., Golbeck, J., 2006. **Ontologies for ecoinformatics.** J. Web Semant. 4, 237–242. doi:10.1016/j.websem.2006.06.002
- Wilson, J.B., 2011. **The twelve theories of co-existence in plant communities: the doubtful, the important and the unexplored.** J. Veg. Sci. 22, 184–195. doi:10.1111/j.1654-1103.2010.01226.x

APÊNDICE A

9. CCON ONTOLOGY

Release 31 October 2013

This version:

<http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#>

Latest version:

<http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#>

Revision

1.0

Authors:

[Adriano Souza](#), University of Brasilia

Imported Ontologies:

[cwr-owl](#)

[EnvO](#)

This work is licensed under a [License name. E.g.: Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 Generic License](#).

Abstract

The ontology of Cerrado wood plant dynamics was created in order to represent the set of concepts about the dynamics, that is, changes over time of the wood vegetation structure, of Cerrado. Ccon describes the main parameters used to measure the changes, such as mortality rate and recruitment rate.

The latest OWL encoding for Ccon can be found [here](#)

9.1. Table of Contents

9.2. Introduction

9.3. Namespace declarations

9.4. Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Overview

9.5. Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Description

9.6. Cross reference for Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics classes, properties and dataproperties

- 9.7. **Classes**
- 9.8. **Object Properties**
- 9.9. **References**
- 9.10. **Acknowledgements**
- 9.11. **Introduction**

The Ccon is an OWL2 ontology according to the W3C recommendations [6], developed to represent the scientific knowledge about vegetation ecology focused to describe the dynamics of wood plants in the Brazilian Cerrado Domain. This ontology will be part of the GeoLinked Data Ontology network to enrich the web of data with geospatial information of the Cerrado Biome, especially with regard the wood plant dynamics. It aims to store data and collect information about biodiversity, composition and wood plant dynamics, to manage, integrate and query data about Cerrado plant community, and search for changes in Cerrado species populations over time. An interesting example can be the possibility of data integration from different scientific studies over different locations. Once the data available on line of studies carried out in different places can be integrated, geolocated, linked with qualitative models and, finally, inferences can be performed.

9.12. Namespace declarations

[Table 1](#): Namespaces used in the document

owl	<http://www.w3.org/2002/07/owl#
rdfs	<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#
ccon	<http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#

9.13. Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Overview

The ontology describe conceptually how the Cerrado biome is structurally organized, in terms of biological organization levels. Once many types of physiognomies have been described and studied [2; 4; 5], there is not a universal consensus about the definitions and characteristics of each one [2]. Thus, the concepts used in the Ontology are the most accepted and used by researchers in Brazilian institutions such as IBGE (Portuguese acronym for Brazilian Institute of Geography and Statistics) and Embrapa (Portuguese acronym for Brazilian Enterprise for Agricultural Research). The Physiognomies differ mainly according to it's vegetation structure, that is, the percentage of wood cover, and composition [2; 4]. There are other types of vegetation which are not savanna like communities, such as Tropical seasonal forests and Grasslands. The ontology define the different characteristics of the physiognomies, and also define the concept of savanna, one of the major types of terrestrial biome and the most representative biome type in the Cerrado domain.

9.14. Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics Description

The ontology define the different characteristics of the physiognomies, and also define the concept of savanna, one of the major types of terrestrial biome and the most representative biome type in the Cerrado domain. Therefore, the ontology has distinct classes to represent each of the most representative biomes and physiognomies, and how the plant communities are organized to define them. In addition, the ontology define classes to represent the biological diversity, the parameters of a community dynamics and structure and the role of the driving forces acting to determine the structure and composition of these plant communities. Terms from Crop-wild Relations Ontology (CWR Ontology) from FAO [1] were reused as well as some terms from the Environmental Ontology (ENVo) [3]. The figure 1 represents how the physiognomies were conceptually organized.

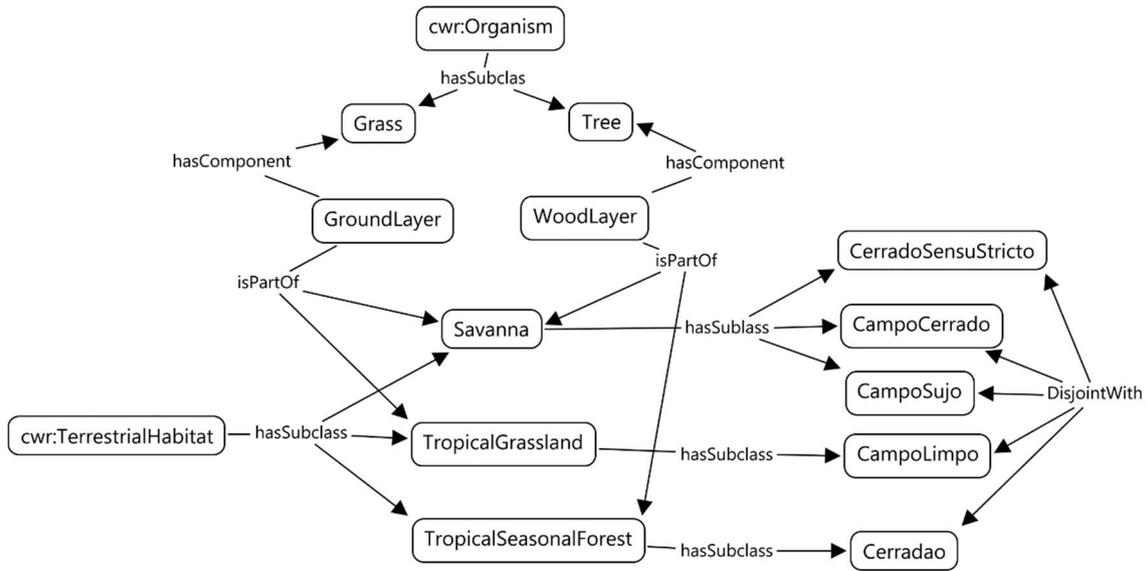


Figure 1. Graphical representation of the main Physiognomies found in Cerrado and its structure present in the Ccon Ontology. Boxes represent Classes and arrows represent Object properties.

The other important aspects represented in the ontology are those regarding the dynamics of the vegetation, characteristics such as Mortality rate, Recruitment rate, Growth rate. They all account to evaluate the changes in the systems structure and composition over time and they were represented graphically in figure 2.

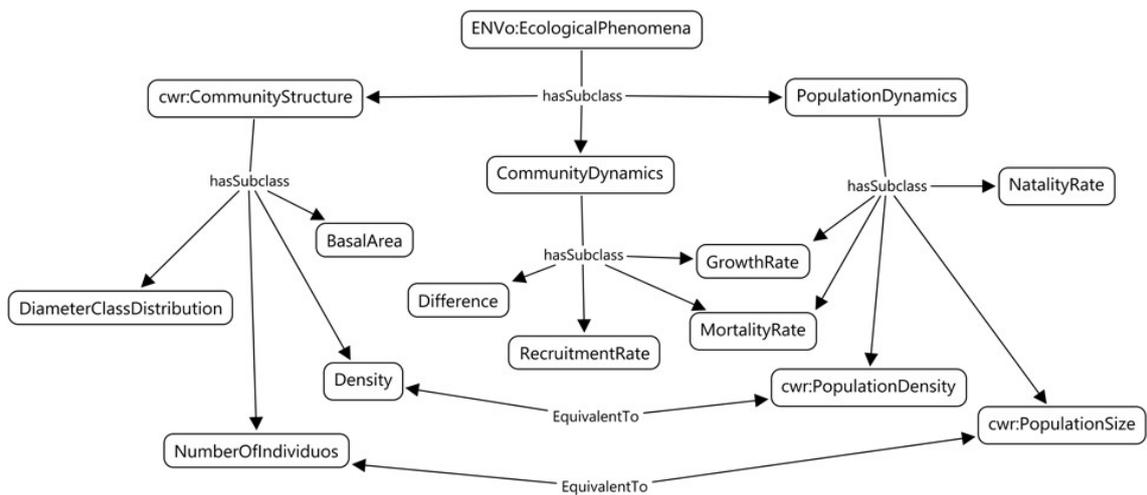


Figure 2. Graphical representation of Community structure and dynamics in Ccon Ontology. Boxes represent Classes and arrows represent Object properties.

9.14.1. Classes

- [population dynamics](#)
 - ["clean field"](#)
 - ["closed field"](#)
 - ["dirty field"](#)
 - [angiosperm](#)
 - [basal area](#)
 - [biodiversity](#)
 - [biological organization level](#)
 - [biome](#)
 - [biosphere](#)
 - [birth rate](#)
 - [Cerrado](#)
 - [Cerrado determining factors](#)
 - [Cerrado sensu lato](#)
 - [Cerrado sensu stricto](#)
 - [cerradão](#)
 - [climate](#)
 - [community](#)
 - [community dynamics](#)
 - [community structure](#)
 - [conservation status](#)
 - [death rate](#)
 - [density](#)
 - [diameter class distribution](#)
 - [difference](#)
 - [diversity](#)
-
- [diversity index](#)
 - [dry season](#)
 - [ecological phenomena](#)
 - [ecoregion](#)
 - [ecosystem](#)
 - [environment](#)
 - [environmental condition](#)

- [eukaryote](#)
- [Fire](#)
- [fire incidence](#)
- [geographical distribution](#)
- [grass](#)
- [ground layer](#)
- [growth](#)
- [habitat](#)
- [herbaceous plant](#)
- [metapopulation](#)
- [number of individuos](#)
- [organism](#)
- [periodicity](#)
- [pielou's evenness](#)
- [plant](#)
- [plant community](#)
- [population](#)
- [population density](#)
- [population size](#)
- [precipitation](#)
- [recruitment](#)
- [relative humidity](#)
- [sample](#)
- [savanna](#)
- [savanna habitat](#)
- [season](#)
- [seasonal variation](#)
- [shannon's diversity index](#)
- [shrub](#)
- [simpson's index](#)
- [soil](#)
- [species](#)
- [species composition](#)
- [species diversity](#)

- [species evenness](#)
- [species richness](#)
- [specific name](#)
- [specimen](#)
- [Sorensen's Dice index](#)
- [temperature](#)
- [terrestrial biome](#)
- [terrestrial habitat](#)
- [tree](#)
- [tropical grassland](#)
- [tropical season](#)
- [tropical seasonal forest](#)
- [vascular plant](#)
- [vegetation](#)
- [vegetation cover](#)
- [wet season](#)
- [wood layer](#)
- [woodland](#)

9.14.2. Properties

- [:hasNumberOfIndividuals](#)
- [affects](#)
- [decreases](#)
- [has component](#)
- [has distribution](#)
- [has exact match](#)
- [has Growth](#)
- [has mortality](#)
- [has natality](#)
- [has recruitment](#)
- [has specific name](#)
- [has status](#)
- [increases](#)

- [is affected by](#)
- [is characteristic of](#)
- [is characterized by](#)
- [is decreased by](#)
- [is growth of](#)
- [is habitat of](#)
- [is increased by](#)
- [is mortality of](#)
- [is natality of](#)
- [is part of](#)
- [is part of](#)
- [is recruitment of](#)
- [is specific name of](#)
- [is status of](#)
- [mapping relation](#)

9.14.3. Cross reference for Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics classes and properties

This section provides details for each class and property defined by Cerrado Concepts and Wood Plant Dynamics .

9.14.3.1. Classes

- [population dynamics](#)
- ["clean field"](#)
- ["closed field"](#)
- ["dirty field"](#)
- [angiosperm](#)
- [basal area](#)
- [biodiversity](#)
- [biological organization level](#)
- [biome](#)
- [biosphere](#)
- [birth rate](#)

- [Cerrado](#)
- [Cerrado determining factors](#)
- [Cerrado sensu lato](#)
- [Cerrado sensu stricto](#)
- [cerradão](#)
- [climate](#)
- [community](#)
- [community dynamics](#)
- [community structure](#)
- [conservation status](#)
- [death rate](#)
- [density](#)
- [diameter class distribution](#)
- [difference](#)
- [diversity](#)
- [diversity index](#)
- [dry season](#)
- [ecological phenomena](#)
- [ecoregion](#)
- [ecosystem](#)
- [environment](#)
- [environmental condition](#)
- [eukaryote](#)
- [Fire](#)
- [fire incidence](#)
- [geographical distribution](#)
- [grass](#)
- [ground layer](#)
- [growth](#)
- [habitat](#)
- [herbaceous plant](#)
- [metapopulation](#)
- [number of individuos](#)
- [organism](#)

- [periodicity](#)
- [pielou's evenness](#)
- [plant](#)
- [plant community](#)
- [population](#)
- [population density](#)
- [population size](#)
- [precipitation](#)
- [recruitment](#)
- [relative humidity](#)
- [sample](#)
- [savanna](#)
- [savanna habitat](#)
- [season](#)
- [seasonal variation](#)
- [shannon's diversity index](#)
- [shrub](#)
- [simpson's index](#)
- [soil](#)
- [species](#)
- [species composition](#)
- [species diversity](#)
- [species evenness](#)
- [species richness](#)
- [specific name](#)
- [specimen](#)
- [Sorensen's Dice index](#)
- [temperature](#)
- [terrestrial biome](#)
- [terrestrial habitat](#)
- [tree](#)
- [tropical grassland](#)
- [tropical season](#)
- [tropical seasonal forest](#)

- [vascular plant](#)
- [vegetation](#)
- [vegetation cover](#)
- [wet season](#)
- [wood layer](#)
- [woodland](#)

POPULATION DYNAMICS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#PopulationDynamics>

It's the study of the changes of the size of a population over time.

has super-classes

[ecological phenomena](#)^c

has sub-classes

[birth rate](#)^c, [death rate](#)^c, [growth](#)^c, [population density](#)^c, [population size](#)^c

"CLEAN FIELD"

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CampoLimpo>

Dry grassland without shrubs or trees

has super-classes

[tropical grassland](#)^c

"CLOSED FIELD"

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CampoCerrado>

Scattered trees and shrubs and a large proportion of grassland

has super-classes

[savanna](#)^c

is disjoint with

["dirty field"](#)^c, [Cerrado sensu stricto](#)^c

"DIRTY FIELD"

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CampoSujo>

Grassland with a scattering of shrubs and small trees

has super-classes

[savanna](#)^c

is disjoint with

["closed field"](#)^c, [Cerrado sensu stricto](#)^c

ANGIOSPERM

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Angiosperm>

Date:

13/03/2005

A seed-bearing plant with the ovules borne enclosed by a sporophyll whose margins are fused, i.e., the ovules are borne in an ovary.

has super-classes

[vascular plant](#)^c

has sub-classes

[grass](#)^c, [herbaceous plant](#)^c, [shrub](#)^c, [tree](#)^c

has members

[Annona crassiflora](#)ⁿⁱ, [Aspidosperma macrocarpon](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum suberosum](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum tortuosum](#)ⁿⁱ, [Guapira noxia](#)ⁿⁱ, [Guapira salicifolia](#)ⁿⁱ, [Hancornia pubescens](#)ⁿⁱ, [Heteropterys byrsonimifolia](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera coriacea](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera speciosa](#)ⁿⁱ, [Lafoensia pacari](#)ⁿⁱ, [Miconia albicans](#)ⁿⁱ, [Miconia fallax](#)ⁿⁱ, [Miconia ferruginata](#)ⁿⁱ, [Miconia pohliana](#)ⁿⁱ, [Mimosa clausenii](#)ⁿⁱ, [Myracrodruon urundeuva](#)ⁿⁱ, [Neea theifera](#)ⁿⁱ, [Palicourea rigida](#)ⁿⁱ, [Piptocarpha rotundifolia](#)ⁿⁱ

BASAL AREA

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#BasalArea>

It's the area of a breast-high cross section of a tree or of all the trees in a stand.

Source: Merriam-Webster dictionary (www.merriam-webster.com)

has super-classes[community structure](#) ^c**BIODIVERSITY****IRI:** <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Biodiversity>

It's the degree of variation of life forms within a given species, ecosystem, biome, or planet.

Source: wikipedia.org

has super-classes[diversity](#) ^c**BIOLOGICAL ORGANIZATION LEVEL****IRI:** <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#BiologicalOrganizationLevel>

The hierarchy of complex biological structures and systems that define life using a reductionistic approach

has super-classes

owl:Thing

has sub-classes

[biome](#) ^c, [biosphere](#) ^c, [community](#) ^c, [ecoregion](#) ^c, [ecosystem](#) ^c, [metapopulation](#) ^c, [organism](#) ^c, [population](#) ^c

BIOME**IRI:** http://purl.obolibrary.org/obo/ENVO_00000428

A major class of ecologically similar communities of plants, animals, and other organisms. Biomes are defined based on factors such as plant structures (such as trees, shrubs, and grasses), leaf types (such as broadleaf and needleleaf), plant spacing (forest, woodland, savanna), and other factors like climate. Unlike ecozones, biomes are not defined by genetic, taxonomic, or historical similarities. Biomes are often identified with particular patterns of ecological succession and climax vegetation.

has super-classes

[biological organization level](#)^c

[is part of](#)^{op} some [biosphere](#)^c

has sub-classes

[terrestrial biome](#)^c

BIOSPHERE

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Biosphere>

Date:

13/03/2005

The entire world of living organisms.

has super-classes

[biological organization level](#)^c

BIRTH RATE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Natality>

The rate in which new borns are added to a population, or in other words, the number of new borns over time.

has super-classes

[population dynamics](#)^c

is in domain of

[is natality of](#)^{op}

is in range of

[has natality](#)^{op}

CERRADO

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Cerrado>

It's a vast tropical savanna ecoregion of Brazil

has super-classes

[ecoregion](#)^c

has sub-classes

[Cerrado sensu lato](#)^c

CERRADO DETERMINING FACTORS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CerradoDeterminingFactors>

Environmental factors that affect the current occurrence and geographical distribution of the Cerrado ecoregion.

has super-classes

[environment](#)^c

has sub-classes

[Fire](#)^c, [climate](#)^c, [soil](#)^c

CERRADO SENSU LATO

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CerradoSensuLato>

It's a regional large scale vegetation which consists of a floristic and vegetational province

has super-classes

[Cerrado](#)^c

CERRADO SENSU STRICTO

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CerradoSensuStricto>

The vegetation is dominated by trees and shrubs with over 30% of canopy cover, but with still a fair amount of herbaceous vegetation between them

has super-classes

[savanna](#)^c

is disjoint with

["closed field"](#)^c, ["dirty field"](#)^c

CERRADÃO

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Cerradao>

Portuguese augmentative of Cerrado, is an almost closed woodland with crown cover of 50% to 90%, made up of trees, often 8-12m or even taller, casting a considerable shade so that the ground layer is much reduced

has super-classes

[tropical seasonal forest](#) ^c

CLIMATE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Climate>

The type of average weather, the state, including statistical description, of the climate system.

has super-classes

[Cerrado determining factors](#) ^c

[has component](#) ^{op} some [relative humidity](#) ^c

[has component](#) ^{op} some [precipitation](#) ^c

COMMUNITY

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Community>

Current version:

<http://www.lasgrwc.org/LandscapeEthic/GlossaryNov17.doc>

Any group of organisms belonging to a number of different species that co-occur in the same habitat or area and interact through trophic and spatial relationships.

has super-classes

[biological organization level](#) ^c

[is characterized by](#) ^{op} some [diversity](#) ^c

[is part of](#) ^{op} some [biome](#) ^c

[is characterized by](#) ^{op} some [community structure](#) ^c

[is characterized by](#) ^{op} some [community dynamics](#) ^c

[is part of](#) ^{op} some [ecosystem](#) ^c

has sub-classes

[plant community](#) ^c

is in domain of

[has component](#)^{op}, [has mortality](#)^{op}, [has recruitment](#)^{op}, [is characterized by](#)^{op}

is in range of

[is characteristic of](#)^{op}, [is mortality of](#)^{op}, [is part of](#)^{op}, [is part of](#)^{op}, [is recruitment of](#)^{op}

COMMUNITY DYNAMICS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#CommunityDynamics>

The community dynamics is the study of changes over time of the structure of biological communities.

has super-classes

[ecological phenomena](#)^c

[is characteristic of](#)^{op} some [plant community](#)^c

has sub-classes

[death rate](#)^c, [difference](#)^c, [growth](#)^c, [recruitment](#)^c

COMMUNITY STRUCTURE

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#CommunityStructure>

Community structure is a set of parameters that we can use to describe a ecological community.

has super-classes

[ecological phenomena](#)^c

[is characteristic of](#)^{op} some [plant community](#)^c

has sub-classes

[basal area](#)^c, [density](#)^c, [diameter class distribution](#)^c, [number of individuos](#)^c

CONSERVATION STATUS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#ConservationStatus>

The conservation status of a group of organisms (for instance, a species) indicates whether the group is extant (members of it are still alive) and how likely the group is to become extinct in the near future. Source: wikipedia.org

is in domain of

[is status of](#)^{op}

is in range of

[has status](#)^{op}

DEATH RATE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Mortality>

It's the number of individuals dead over time.

has super-classes

[community dynamics](#)^c

[population dynamics](#)^c

is in domain of

[is mortality of](#)^{op}

is in range of

[has mortality](#)^{op}

DENSITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Density>

The number of individuals of a population or cummmunity occupying an area.

is equivalent to

[population density](#)^c

has super-classes

[community structure](#)^c

DIAMETER CLASS DISTRIBUTION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#DiameterClassDistribution>

Consists of the distribution of the number of individuals in diameter classes.

has super-classes

[community structure](#)^c

DIFFERENCE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Difference>

It's the difference of any parameter (size, number of deads, number of recruits etc.) between two dates.

has super-classes

[community dynamics](#) ^c

DIVERSITY

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Diversity>

1) The variety of plant and animal taxa, including genes, amino acids, flowers, species, or populations. 2) The variety of plant and animal communities, forest types, stand conditions, age classes, and landscape components.

has super-classes

[ecological phenomena](#) ^c

has sub-classes

[biodiversity](#) ^c, [diversity index](#) ^c

DIVERSITY INDEX

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#DiversityIndex>

It's a quantitative measure that reflects how many different types (such as species) there are in a dataset, and can simultaneously takes into account how evenly the basic units (such as individuals) are distributed among those types.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[diversity](#) ^c

has sub-classes

[species composition](#) ^c, [species diversity](#) ^c, [species evenness](#) ^c, [species richness](#) ^c

DRY SEASON

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#DrySeason>

Consists of the period of the year in some tropical climate areas with average rainfall less than 60mm by month.

has super-classes

[tropical season](#)^c

is disjoint with

[wet season](#)^c

ECOLOGICAL PHENOMENA

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#EcologicalPhenomena>

Ecological phenomenon is any event - regarding interactions among organisms and their environment - that is observable, however common it might be, even if it requires the use of instrumentation to observe, record, or compile data concerning it.

has super-classes

owl:Thing

has sub-classes

[population dynamics](#)^c, [community dynamics](#)^c, [community structure](#)^c,
[diversity](#)^c

is in domain of

[affects](#)^{op}, [is characteristic of](#)^{op}

is in range of

[is affected by](#)^{op}, [is characterized by](#)^{op}

ECOREGION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Ecoregion>

An ecologically defined large unit of land or water containing a geographically distinct assemblage of species, natural communities, and environmental conditions

has super-classes

[biological organization level](#)^c

[is part of](#)^{op} some [biosphere](#)^c

has sub-classes

[Cerrado](#)^c

ECOSYSTEM

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Ecosystem>

Current version:

A complex of organisms and their environment forming a functioning whole.

has super-classes

[biological organization level](#) ^c

[is part of](#) ^{op} some [biome](#) ^c

[is part of](#) ^{op} some [ecoregion](#) ^c

has sub-classes

[habitat](#) ^c

ENVIRONMENT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Environment>

The environment of an organism consists of all those factors and phenomena outside the organism that influence it, whether these

are physical and chemical (abiotic) or other organisms (biotic) (Begon *et al.*, 2006)

has super-classes

[affects](#) ^{op} some [ecological phenomena](#) ^c

[affects](#) ^{op} some [species](#) ^c

[affects](#) ^{op} some [biological organization level](#) ^c

has sub-classes

[Cerrado determining factors](#) ^c, [environmental condition](#) ^c, [periodicity](#) ^c,
[season](#) ^c

is in domain of

[is affected by](#) ^{op}

is in range of

[affects](#) ^{op}

ENVIRONMENTAL CONDITION

IRI: http://purl.obolibrary.org/obo/ENVO_01000203

An abiotic environmental factor that influences the functioning of living organisms (Begon *et al.*, 2006).

has super-classes

[environment](#)^c

has sub-classes

[fire incidence](#)^c, [precipitation](#)^c, [relative humidity](#)^c, [temperature](#)^c

EUKARYOTE

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Eukaryote>

Date:

13/03/2005

An organism having eukaryotic cells with true nuclei.

has super-classes

[organism](#)^c

has sub-classes

[plant](#)^c

FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#FireRegime>

It's the pattern of variation in fire occurrence, frequency and severity.

has super-classes

[Cerrado determining factors](#)^c

FIRE INCIDENCE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#FireIncidence>

The occurrence of burning in ecosystems.

has super-classes

[environmental condition](#)^c

[increases](#)^{op} only [ground layer](#)^c

[decreases](#)^{op} only [wood layer](#)^c

GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#GeographicalDistribution>

The total area of habitat in which a species can inhabit.

is in domain of

[is habitat of](#)^{op}

is in range of

[has distribution](#)^{op}

GRASS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Grass>

Grasses or graminoids are monocotyledonous from Poales Order, usually herbaceous plants with narrow leaves growing from the base. They include some of the most versatile plant life-forms and became widespread toward the end of the Cretaceous period.

Source: wikipedia.org; eol.org

has super-classes

[angiosperm](#)^c

[is part of](#)^{op} only [ground layer](#)^c

is disjoint with

[herbaceous plant](#)^c, [shrub](#)^c, [tree](#)^c

GROUND LAYER

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#GroundLayer>

It is the understory vegetation which consists of mainly grass and herbaceous plants

has super-classes

[vegetation cover](#)^c

[has component](#)^{op} some [herbaceous plant](#)^c

[has component](#)^{op} some [grass](#)^c

[is part of](#)^{op} only [tropical grassland](#)^c

[is part of](#)^{op} only [savanna](#)^c

is in domain of

[is decreased by](#)^{op}

is in range of

[decreases](#)^{op}

is disjoint with

[wood layer](#)^c

GROWTH

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#GrowthRate>

It's a measure of the changes in population or community size over time.

has super-classes

[community dynamics](#)^c

[population dynamics](#)^c

is in domain of

[is growth of](#)^{op}

is in range of

[has Growth](#)^{op}

HABITAT

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Habitat>

Environment in a given area occupied by an organism or a group of organisms.

has super-classes

[ecosystem](#)^c

[is part of](#)^{op} only [ecosystem](#)^c

has sub-classes

[terrestrial habitat](#)^c

HERBACEOUS PLANT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#HerbaceousPlant>

A herbaceous plant is a plant that has leaves and stems that die down at the end of the growing season to the soil level. They have no persistent woody stem above ground. Herbaceous plants may be annuals, biennials or perennials.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[angiosperm](#)^c

[is part of](#)^{op} only [ground layer](#)^c

is disjoint with

[grass](#)^c, [shrub](#)^c, [tree](#)^c

METAPOPOPULATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Metapopulation>

Consists of a group of spatially separated populations of the same species which interact at some level.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[biological organization level](#)^c

[is part of](#)^{op} some [species](#)^c

[is part of](#)^{op} some [community](#)^c

NUMBER OF INDIVIDUOS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#NumberOfIndividuos>

It's the amount of individuals of a population or community.

is equivalent to

[population size](#)^c

has super-classes

[community structure](#)^c

is in range of

[:hasNumberOfIndividuals](#)^{op}

ORGANISM

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Organism>

is defined by

<https://dl.dropboxusercontent.com/u/4883402/ccon0.9.3-rdf.owl>

Any living creature. A plant, animal, or micro-organism.

has super-classes

[biological organization level](#) ^c

[is part of](#) ^{op} some [population](#) ^c

has sub-classes

[eukaryote](#) ^c

PERIODICITY

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Periodicity>

Periodicity is used to define events that are recurrent or the repetition of similar events.

has super-classes

[environment](#) ^c

has sub-classes

[season](#) ^c, [seasonal variation](#) ^c

PIELOU'S EVENNESS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#PielousEvenness>

It's a representation of the evenness and quantifies how equal the community is numerically.

has super-classes

[species evenness](#) ^c

PLANT

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Plant>

Any of a kingdom (Plantae) of living beings typically lacking locomotive movement or obvious sensory organs, generally making its own food, possessing cell walls, and unlimited growth.

has super-classes

[eukaryote](#)^c

has sub-classes

[vascular plant](#)^c

PLANT COMMUNITY

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#PlantCommunity>

Date:

13/03/2005

An assemblage of individuals of one or more species that influence one another and modify their environment (after Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974).

has super-classes

[community](#)^c

has sub-classes

[vegetation](#)^c

POPULATION

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Population>

A group of interbreeding organisms not separated by geographic barriers which would inhibit breeding between all individuals.

has super-classes

[biological organization level](#)^c

[is part of](#)^{op} some [community](#)^c

[is part of](#)^{op} some [metapopulation](#)^c

[is part of](#)^{op} some [species](#)^c

has sub-classes

[sample](#)^c

is in domain of

[has natality](#)^{op}

is in range of

[is natality of](#)^{op}

POPULATION DENSITY

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#PopulationDensity>

Current version:

Blackwell's concise encyclopedia of ecology, 1999

The number of individuals per unit area.

has super-classes

[population dynamics](#)^c

POPULATION SIZE

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#PopulationSize>

It's the amount of individuals in a population

has super-classes

[population dynamics](#)^c

PRECIPITATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Precipitation>

Any product of the condensation of atmospheric water vapour that falls under gravity
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Precipitation>)

has super-classes

[environmental condition](#)^c

[increases](#)^{op} only [wood layer](#)^c

[decreases](#)^{op} only [ground layer](#)^c

is in domain of

[decreases](#)^{op}, [increases](#)^{op}

is in range of

[is decreased by](#) ^{op}, [is increased by](#) ^{op}

RECRUITMENT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Recruitment>

It's the rate on which new individuals establishes in a certain community either by new born individuals or immigration.

has super-classes

[community dynamics](#) ^c

is in domain of

[is recruitment of](#) ^{op}

is in range of

[has recruitment](#) ^{op}

RELATIVE HUMIDITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#RelativeHumidity>

The relative amount of whater vapour in the atmosphere

has super-classes

[environmental condition](#) ^c

SAMPLE

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Sample>

Current version:

<http://www.bugwood.org/glossary/html/glossary-s.html>

A part of a population, consisting of one or more units selected and examined as representative of the whole

has super-classes

[population](#) ^c

has sub-classes

[specimen](#) ^c

SAVANNA

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Savanna>

grasslands with scattered trees

is equivalent to

[savanna habitat](#)^c

has super-classes

[terrestrial biome](#)^c

[is part of](#)^{op} only [Cerrado sensu lato](#)^c

has sub-classes

["closed field"](#)^c, ["dirty field"](#)^c, [Cerrado sensu stricto](#)^c

SAVANNA HABITAT

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#SavannaHabitat>

It's a terrestrial habitat consisting of grasslands with scattered trees.

has super-classes

[terrestrial habitat](#)^c

is disjoint with

[woodland](#)^c

SEASON

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Season>

A subdivision of the year, marked by changes in weather, ecology, and hours of day light

is equivalent to

[seasonal variation](#)^c

has super-classes

[environment](#)^c

[periodicity](#)^c

has sub-classes

[tropical season](#)^c

SEASONAL VARIATION

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#SeasonalVariation>

It's the change of climate seasons during a one year period.

has super-classes

[periodicity](#)^c

SHANNON'S DIVERSITY INDEX

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#shannonsDiversityIndex>

has super-classes

[species diversity](#)^c

SHRUB

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Shrub>

A shrub is distinguished from a tree by its multiple stems and shorter height, usually under 6 m tall. Plants of many species may grow either into shrubs or trees, depending on their growing conditions.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[angiosperm](#)^c

[is part of](#)^{op} only [wood layer](#)^c

is disjoint with

[grass](#)^c, [herbaceous plant](#)^c, [tree](#)^c

SIMPSON'S INDEX

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SimpsonsIndex>

The simplest measure of the character of a community that takes into account both the abundance (or biomass) patterns and the species richness (Begon *et al.*, 2006).

has super-classes

[species diversity](#)^c

SOIL

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Soil>

It's a natural body consisting of layers (soil horizons) that are primarily composed of minerals, mixed with at least some organic matter, which differ from their parent materials in their texture, structure, consistency, color, chemical, biological and other characteristics. It is the loose covering of fine rock particles that covers the surface of the earth.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[Cerrado determining factors](#)^c

SPECIES

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Species>

A group of organisms capable of interbreeding and producing fertile offspring.

is in domain of

[:hasNumberOfIndividuals](#)^{op}, [has distribution](#)^{op}, [has exact match](#)^{op}, [has specific name](#)^{op}, [has status](#)^{op}, [is part of](#)^{op}, [is part of](#)^{op}, [mapping relation](#)^{op}

is in range of

[has component](#)^{op}, [has exact match](#)^{op}, [is habitat of](#)^{op}, [is specific name of](#)^{op}, [is status of](#)^{op}, [mapping relation](#)^{op}

has members

[Acosmium dasycarpum](#)ⁿⁱ, [Aegiphila lhotzkiana](#)ⁿⁱ, [Anacardium humile](#)ⁿⁱ, [Annona crassiflora](#)ⁿⁱ, [Annona tomentosa](#)ⁿⁱ, [Aspidosperma macrocarpon](#)ⁿⁱ, [Aspidosperma tomentosum](#)ⁿⁱ, [Blepharocalyx suaveolens](#)ⁿⁱ, [Byrsonima coccolobifolia](#)ⁿⁱ, [Byrsonima crassa](#)ⁿⁱ, [Byrsonima verbascifolia](#)ⁿⁱ, [Cardiopetalum calophyllum](#)ⁿⁱ, [Caryocar brasiliense](#)ⁿⁱ, [Casearia sylvestris](#)ⁿⁱ, [Connarus suberosus](#)ⁿⁱ, [Couepia grandiflora](#)ⁿⁱ, [Cybianthus detergens](#)ⁿⁱ, [Cybistax antisiphilitica](#)ⁿⁱ, [Dalbergia miscolobium](#)ⁿⁱ, [Davilla elliptica](#)ⁿⁱ, [Dendropanax cuneatus](#)ⁿⁱ, [Dimorphandra mollis](#)ⁿⁱ, [Diospyros burchellii](#)ⁿⁱ, [Enterolobium gummiferum](#)ⁿⁱ, [Eremanthus glomerulatus](#)ⁿⁱ, [Eremanthus goyazensis](#)ⁿⁱ, [Eriotheca pubescens](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum deciduum](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum suberosum](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum tortuosum](#)ⁿⁱ, [Guapira noxia](#)ⁿⁱ, [Guapira salicifolia](#)ⁿⁱ, [Hancornia](#)

[pubescens](#)ⁿⁱ, [Hancornia speciosa](#)ⁿⁱ, [Heteropterys byrsonimifolia](#)ⁿⁱ, [Hirtella ciliata](#)ⁿⁱ, [Hymenaea stigonocarpa](#)ⁿⁱ, [Jacaranda decurrens](#)ⁿⁱ, [Jacaranda decurrens](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera coriacea](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera speciosa](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera variabilis](#)ⁿⁱ, [Lafoensia pacari](#)ⁿⁱ, [Mauritia flexuosa](#)ⁿⁱ, [Miconia albicans](#)ⁿⁱ, [Miconia fallax](#)ⁿⁱ, [Miconia ferruginata](#)ⁿⁱ, [Miconia pohliana](#)ⁿⁱ, [Mimosa clausenii](#)ⁿⁱ, [Myracrodruon urundeuva](#)ⁿⁱ, [Myrsine guianensis](#)ⁿⁱ, [Neea theifera](#)ⁿⁱ, [Ouratea hexasperma](#)ⁿⁱ, [Palicourea rigida](#)ⁿⁱ, [Periandra mediterranea](#)ⁿⁱ, [Piptocarpha rotundifolia](#)ⁿⁱ, [Pisonia graciliflora](#)ⁿⁱ, [Pisonia noxia](#)ⁿⁱ, [Plenckia populnea](#)ⁿⁱ, [Pouteria ramiflora](#)ⁿⁱ, [Pterodon pubescens](#)ⁿⁱ, [Qualea grandiflora](#)ⁿⁱ, [Qualea multiflora](#)ⁿⁱ, [Qualea parviflora](#)ⁿⁱ, [Roupala montana](#)ⁿⁱ, [Rourea induta](#)ⁿⁱ, [Salacia crassifolia](#)ⁿⁱ, [Schefflera macrocarpa](#)ⁿⁱ, [Sclerolobium paniculatum](#)ⁿⁱ, [Spiranthera odoratissima](#)ⁿⁱ, [Stryphnodendron adstringens](#)ⁿⁱ, [Styrax ferrugineus](#)ⁿⁱ, [Syagrus comosa](#)ⁿⁱ, [Syagrus flexuosa](#)ⁿⁱ, [Syagrus petraea](#)ⁿⁱ, [Symplocos rhamnifolia](#)ⁿⁱ, [Tabebuia ochracea](#)ⁿⁱ, [Tocoyena formosa](#)ⁿⁱ, [Vatairea macrocarpa](#)ⁿⁱ, [Vellozia squamata](#)ⁿⁱ, [Vochysia elliptica](#)ⁿⁱ, [Vochysia thyrsoidea](#)ⁿⁱ

SPECIES COMPOSITION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SpeciesCompositionSimilarity>

It's how many different species occurs in a community or ecosystem.

has super-classes

[diversity index](#)^c

has sub-classes

[Sorensen's Dice index](#)^c

SPECIES DIVERSITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SpeciesDiversity>

the effective number of different species that are represented in a collection of individuals, it consists of two components: species richness and species evenness

has super-classes

[diversity index](#)^c

has sub-classes

[shannon's diversity index](#)^c, [simpson's index](#)^c

SPECIES EVENNESS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SpeciesEvenness>

Evenness is simply a measure of how similar species are in their abundances.

has super-classes

[diversity index](#)^c

has sub-classes

[pielou's evenness](#)^c

SPECIES RICHNESS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SpeciesRichness>

the number of different species represented in an ecological community, landscape or region

has super-classes

[diversity index](#)^c

SPECIFIC NAME

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SpecificName>

is in domain of

[is specific name of](#)^{op}

is in range of

[has specific name](#)^{op}

SPECIMEN

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Specimen>

Current version:

<http://www.fishbase.org/Glossary/Glossary.cfm?TermEnglish=specimen>

An individual from a scientific sample; sometimes an individual regarded as typical of the group.

has super-classes

[sample](#)^c

SORENSEN'S DICE INDEX

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#SorensensSimilarityIndex>

has super-classes

[species composition](#)^c

TEMPERATURE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Temperature>

It is a measure of the thermal energy per particle of matter or radiation; it is measured by a thermometer, which may be calibrated in any of various temperature scales, Celsius, Fahrenheit, Kelvin, etc (<http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature>).

has super-classes

[environmental condition](#)^c

TERRESTRIAL BIOME

IRI: http://purl.obolibrary.org/obo/ENVO_00000446

A biome that applies to the terrestrial realm.

is equivalent to

[terrestrial habitat](#)^c

has super-classes

[biome](#)^c

has sub-classes

[savanna](#)^c, [tropical grassland](#)^c, [tropical seasonal forest](#)^c

TERRESTRIAL HABITAT

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#TerrestrialHabitat>

It's the terrestrial environment occupied by an organism, population or community.

has super-classes

[habitat](#)^c

has sub-classes

[savanna habitat](#) ^c, [woodland](#) ^c

TREE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Tree>

A tree can be defined as a large woody perennial plant.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[angiosperm](#) ^c

[is part of](#) ^{op} only [wood layer](#) ^c

is disjoint with

[grass](#) ^c, [herbaceous plant](#) ^c, [shrub](#) ^c

TROPICAL GRASSLAND

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#TropicalGrassland>

Dry grassland without shrubs or trees

has super-classes

[terrestrial biome](#) ^c

[is part of](#) ^{op} some [Cerrado sensu lato](#) ^c

has sub-classes

["clean field"](#) ^c

TROPICAL SEASON

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#TropicalSeason>

Most of tropical areas has only two distinct seasons during the year, which are called tropical seasons and they can be distinguish as wet season and dry season.

has super-classes

[season](#) ^c

has sub-classes

[dry season](#) ^c, [wet season](#) ^c

TROPICAL SEASONAL FOREST

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#TropicalSeasonalForest>

A tropical forest grows in regions with a marked dry season. There is some defoliation during the dry season, the degree depending on the severity of the moisture deficit. The structure of the forest is also simpler than of the rain forest, with fewer tree strata, and less luxuriant growths of climbing and herbaceous plants.

www.oxfordreference.com

has super-classes

[terrestrial biome](#)^c

[is part of](#)^{op} only [Cerrado sensu lato](#)^c

has sub-classes

[cerrado](#)^c

VASCULAR PLANT

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#VascularPlant>

Date:

13/03/2005

A general name for any plant that has xylem and phloem.

has super-classes

[plant](#)^c

has sub-classes

[angiosperm](#)^c

VEGETATION

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Vegetation>

The assemblage of plant species in a given area; also used as a general term for plant life.

has super-classes

[plant community](#)^c

has sub-classes

[vegetation cover](#)^c

VEGETATION COVER

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#VegetationCover>

It's the type of the dominant vegetation or the dominant plant-life form in a certain location.

has super-classes

[vegetation](#)^c

has sub-classes

[ground layer](#)^c, [wood layer](#)^c

WET SEASON

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#WetSeason>

Consists of the period of the year in some tropical climate areas with average rainfall greater than 60mm by month.

has super-classes

[tropical season](#)^c

is disjoint with

[dry season](#)^c

WOOD LAYER

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#WoodLayer>

It consists of mainly wood plants and many researchers include monocots like palm trees because of their woody like trunks, but they are not considered trees.

has super-classes

[vegetation cover](#)^c

is part of^{op} only [tropical seasonal forest](#)^c

is part of^{op} only [savanna](#)^c

has component^{op} some [shrub](#)^c

[has component](#)^{op} some [tree](#)^c

is in domain of

[is increased by](#)^{op}

is in range of

[increases](#)^{op}

has members

[Acosmium dasycarpum](#)ⁿⁱ, [Aegiphila lhotzkiana](#)ⁿⁱ, [Anacardium humile](#)ⁿⁱ,
[Annona crassiflora](#)ⁿⁱ, [Annona tomentosa](#)ⁿⁱ, [Aspidosperma macrocarpon](#)ⁿⁱ,
[Blepharocalyx suaveolens](#)ⁿⁱ, [Byrsonima coccolobifolia](#)ⁿⁱ, [Byrsonima crassa](#)ⁿⁱ,
[Byrsonima verbascifolia](#)ⁿⁱ, [Cardiopetalum calophyllum](#)ⁿⁱ, [Caryocar brasiliense](#)ⁿⁱ,
[Casearia sylvestris](#)ⁿⁱ, [Connarus suberosus](#)ⁿⁱ, [Couepia grandiflora](#)ⁿⁱ,
[Cybianthus detergens](#)ⁿⁱ, [Cybistax antisiphilitica](#)ⁿⁱ, [Dalbergia miscolobium](#)ⁿⁱ,
[Davilla elliptica](#)ⁿⁱ, [Dendropanax cuneatus](#)ⁿⁱ, [Dimorphandra mollis](#)ⁿⁱ, [Diospyros
burchellii](#)ⁿⁱ, [Enterolobium gummiferum](#)ⁿⁱ, [Eremanthus glomerulatus](#)ⁿⁱ,
[Eremanthus goyazensis](#)ⁿⁱ, [Eriotheca pubescens](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum deciduum](#)ⁿⁱ,
[Erythroxylum suberosum](#)ⁿⁱ, [Erythroxylum tortuosum](#)ⁿⁱ, [Guapira noxia](#)ⁿⁱ,
[Guapira salicifolia](#)ⁿⁱ, [Hancornia pubescens](#)ⁿⁱ, [Hancornia speciosa](#)ⁿⁱ, [Hancornia
speciosa](#)ⁿⁱ, [Heteropterys byrsonimifolia](#)ⁿⁱ, [Hirtella ciliata](#)ⁿⁱ, [Hymenaea
stigonocarpa](#)ⁿⁱ, [Jacaranda decurrens](#)ⁿⁱ, [Jacaranda decurrens](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera
coriacea](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera speciosa](#)ⁿⁱ, [Kielmeyera variabilis](#)ⁿⁱ, [Lafoensia pacari](#)ⁿⁱ,
[Mauritia flexuosa](#)ⁿⁱ, [Miconia albicans](#)ⁿⁱ, [Miconia fallax](#)ⁿⁱ, [Miconia ferruginata](#)ⁿⁱ,
[Miconia pohliana](#)ⁿⁱ, [Mimosa claussenii](#)ⁿⁱ, [Myracrodruon urundeuva](#)ⁿⁱ,
[Myrsine guianensis](#)ⁿⁱ, [Neea theifera](#)ⁿⁱ, [Ouratea hexasperma](#)ⁿⁱ, [Palicourea rigida](#)ⁿⁱ,
[Periandra mediterranea](#)ⁿⁱ, [Piptocarpha rotundifolia](#)ⁿⁱ, [Pisonia graciliflora](#)ⁿⁱ,
[Pisonia noxia](#)ⁿⁱ, [Plenckia populnea](#)ⁿⁱ, [Pouteria ramiflora](#)ⁿⁱ, [Pterodon pubescens](#)ⁿⁱ,
[Qualea grandiflora](#)ⁿⁱ, [Qualea multiflora](#)ⁿⁱ, [Qualea parviflora](#)ⁿⁱ, [Roupala
montana](#)ⁿⁱ, [Rourea induta](#)ⁿⁱ, [Salacia crassifolia](#)ⁿⁱ, [Schefflera macrocarpa](#)ⁿⁱ,
[Sclerolobium paniculatum](#)ⁿⁱ, [Spiranthera odoratissima](#)ⁿⁱ, [Stryphnodendron
adstringens](#)ⁿⁱ, [Styrax ferrugineus](#)ⁿⁱ, [Syagrus comosa](#)ⁿⁱ, [Syagrus flexuosa](#)ⁿⁱ,
[Syagrus petraea](#)ⁿⁱ, [Symplocos rhamnifolia](#)ⁿⁱ, [Tabebuia ochracea](#)ⁿⁱ, [Tocoyena
formosa](#)ⁿⁱ, [Vatairea macrocarpa](#)ⁿⁱ, [Vellozia squamata](#)ⁿⁱ, [Vochysia elliptica](#)ⁿⁱ,
[Vochysia thyrsoidea](#)ⁿⁱ

is disjoint with

[ground layer](#)^c

WOODLAND

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#Woodland>

Woodland is a low-density forest forming open habitats with plenty of sunlight and limited shade.

Source: Wikipedia.org

has super-classes

[terrestrial habitat](#)^c

is disjoint with

[savanna habitat](#)^c

9.14.3.2. Object Properties

- [:hasNumberOfIndividuals](#)
- [affects](#)
- [decreases](#)
- [has component](#)
- [has distribution](#)
- [has exact match](#)
- [has Growth](#)
- [has mortality](#)
- [has natality](#)
- [has recruitment](#)
- [has specific name](#)
- [has status](#)
- [increases](#)
- [is affected by](#)
- [is characteristic of](#)
- [is characterized by](#)
- [is decreased by](#)
- [is growth of](#)
- [is habitat of](#)

- [is increased by](#)
- [is mortality of](#)
- [is natality of](#)
- [is part of](#)
- [is part of](#)
- [is recruitment of](#)
- [is specific name of](#)
- [is status of](#)
- [mapping relation](#)

:HASNUMBEROFINDIVIDUALS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasNumberOfIndividuals>

has domain

[species](#)^c

has range

[number of individuos](#)^c

AFFECTS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#affects>

has sub-properties

[decreases](#)^{op}, [increases](#)^{op}

has domain

[ecological phenomena](#)^c

has range

[environment](#)^c

is inverse of

[is affected by](#)^{op}

DECREASES

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#decreases>

has super-properties

[affects](#)^{op}

has domain

[precipitation](#)^c

has range

[ground layer](#)^c

is inverse of

[is decreased by](#)^{op}

HAS COMPONENT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasComponent>

has domain

[community](#)^c

has range

[species](#)^c

is inverse of

[is part of](#)^{op}, [is part of](#)^{op}

HAS DISTRIBUTION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasDistribution>

has domain

[species](#)^c

has range

[geographical distribution](#)^c

is inverse of

[is habitat of](#)^{op}

HAS EXACT MATCH

IRI: <http://www.w3.org/2004/02/skos/core#exactMatch>

is defined by

<http://www.w3.org/2004/02/skos/core>

skos:exactMatch is disjoint with each of the properties skos:broadMatch and skos:relatedMatch.

has characteristics: symmetric, transitive

has super-properties

[mapping relation](#)^{op}

has domain

[species](#)^c

has range

[species](#)^c

HAS GROWTH

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasGrowth>

has domain

[community](#)^c or [population](#)^c

has range

[growth](#)^c

is inverse of

[is growth of](#)^{op}

HAS MORTALITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasMortality>

has domain

[community](#)^c

has range

[death rate](#)^c

is inverse of

[is mortality of](#)^{op}

HAS NATALITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasNatality>

has domain

[population](#)^c

has range

[birth rate](#)^c

is inverse of

[is natality of](#)^{op}

HAS RECRUITMENT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasRecruitment>

has domain

[community](#)^c

has range

[recruitment](#)^c

is inverse of

[is recruitment of](#)^{op}

HAS SPECIFIC NAME

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasSpecificName>

has domain

[species](#)^c

has range

[specific name](#)^c

is inverse of

[is specific name of](#)^{op}

HAS STATUS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#hasStatus>

has domain

[species](#)^c

has range

[conservation status](#)^c

is inverse of

[is status of](#)^{op}

INCREASES

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#increases>

has super-properties

[affects](#)^{op}

has domain

[precipitation](#)^c

has range

[wood layer](#)^c

is inverse of

[is increased by](#)^{op}

IS AFFECTED BY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isAffectedBy>

has domain

[environment](#)^c

has range

[ecological phenomena](#)^c

is inverse of

[affects](#)^{op}

IS CHARACTERISTIC OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isCharacteristicOf>

has domain

[ecological phenomena](#)^c

has range

[community](#)^c

is inverse of

[is characterized by](#)^{op}

IS CHARACTERIZED BY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isCharacterizedBy>

has domain

[community](#)^c

has range

[ecological phenomena](#)^c

is inverse of

[is characteristic of](#)^{op}

IS DECREASED BY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isDecreasedBy>

has domain

[ground layer](#)^c

has range

[precipitation](#)^c

is inverse of

[decreases](#)^{op}

IS GROWTH OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isGrowthOf>

has domain

[growth](#)^c

has range

[community](#)^c or [population](#)^c

is inverse of

[has Growth](#)^{op}

IS HABITAT OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isHabitatOf>

has domain

[geographical distribution](#)^c

has range

[species](#)^c

is inverse of

[has distribution](#)^{op}

IS INCREASED BY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isIncreasedBy>

has domain

[wood layer](#)^c

has range

[precipitation](#)^c

is inverse of

[increases](#)^{op}

IS MORTALITY OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isMortalityOf>

has domain

[death rate](#)^c

has range

[community](#)^c

is inverse of

[has mortality](#)^{op}

IS NATALITY OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isNativityOf>

has domain

[birth rate](#)^c

has range

[population](#)^c

is inverse of

[has natality](#)^{op}

IS PART OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isPartOf>

has equivalent properties

[is part of](#)^{op}

has domain

[species](#)^c

has range

[community](#)^c

is inverse of

[has component](#)^{op}

IS PART OF

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#isPartOf>

has equivalent properties

[is part of](#)^{op}

has domain

[species](#)^c

has range

[community](#)^c

is inverse of

[has component](#)^{op}

IS RECRUITMENT OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isRecruitmentOf>

has domain

[recruitment](#)^c

has range

[community](#)^c

is inverse of

[has recruitment](#)^{op}

IS SPECIFIC NAME OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isSpecificNameOf>

has domain

[specific name](#)^c

has range

[species](#)^c

is inverse of

[has specific name](#)^{op}

IS STATUS OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isStatusOf>

has domain

[conservation status](#)^c

has range

[species](#)^c

is inverse of

[has status](#)^{op}

MAPPING RELATION

IRI: <http://www.w3.org/2004/02/skos/core#mappingRelation>

has characteristics: symmetric

has sub-properties

[has exact match](#)^{op}

has domain

[species](#)^c

has range

[species](#)^c

9.15. References

- [1] [Crop-wild Relatives Ontology](#). Agricultural Information Management Standards – AIMS. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Accessed in August 2013.
- [2] Eiten, G. (1972). [The Cerrado vegetation of Brazil](#). The Botanical Review, 38(2), 201–341.
- [3] [Environmental Ontology \(EnvO\)](#). Accessed in: August 2013.
- [4] Oliveira-Filho, A., & Ratter, J. (2002). [Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome](#). In P. S. Oliveira & R. J. Marquis (Eds.), The Cerrados of Brazil. Ecology and natural history of a neotropical savanna (pp. 91–120). New York: Columbia University Press.

[5] Ratter, J. A., Bridgewater, S., & Ribeiro, J. F. (2003). Analysis of the Floristic Composition of the Brazilian Cerrado Vegetation III: Comparison of the Woody Vegetation of 376 Areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60(01), 57–109.

[6] W3C OWL Working Group. [OWL 2 Web Ontology Language: Overview](#). 27 October 2009. W3C Recommendation.

9.16. Acknowledgements

The authors would like to thank [Silvio Peroni](#) for developing [LODE](#), a Live OWL Documentation Environment used for representing the Cross Referencing Section of this document and [Daniel Garijo](#) for developing the script used to create the template of this document.

APÊNDICE B

10. FIRE ONTOLOGY

Release 31 October 2013

This version:

<http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#>

Latest version:

<http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#>

Revision

1.0

Authors:

[Adriano Souza](#), University of Brasilia

Imported Ontologies:

[ENVO Ontology](#)

[OBOE-Spatial](#)

[OBOE-Temporal](#)

This work is licensed under a [License name. E.g.: Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 Generic License](#).

Abstract

The ontology of Fire was created in order to represent the set of concepts about the fire occurring in natural vegetation, its characteristics, causes and effects, with focus on Cerrado vegetation domain. The fire plays a determinant role on the structure and composition of Cerrado physiognomies.

The latest OWL encoding of the Fire Ontology can be found [here](#)

10.1. Table of Contents

10.1.1. Introduction

10.1.2. Namespace declarations

10.1.3. Fire Ontology Overview

10.1.4. Fire Ontology Description

10.1.5. Cross reference for Fire Ontology classes, properties and dataproperties

10.1.6. Classes

10.1.7. Object Properties

10.1.8. References

10.1.9. Acknowledgements

10.2. Introduction

The Fire Ontology is an OWL2 ontology, according to the W3C recommendations [2], developed to represent the scientific knowledge about fire behavior focused to describe the characteristics, causes and effects of fire on wood plants in the Brazilian Cerrado Domain. This ontology will be part of the GeoLinked Data Ontology network to enrich the web of data with geospatial data of the Cerrado Domain, especially with regard to the wood plant dynamics. It aims to store data and collect information about biodiversity, composition and wood plant dynamics, fire events, to manage data about Cerrado plant community, and search for changes in Cerrado plant communities and species populations over time.

An example can be the possibility of data integration. Once the data available online of studies carried out in different places can be integrated, geolocated, linked with qualitative models and, finally, inferences can be performed.

10.3. Namespace declarations

[Table 1](#): Namespaces used in the document

o	<http://www.w3.org/2002/07/owl#
wl	
r	<http://www.w3.org/2000/01/rdf-
dfs	schema#

f	< http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/
ire	fire#

10.4. Fire Ontology Overview

The ontology of Fire was created in order to represent the set of concepts about the fire occurring in natural vegetation, its characteristics, causes and effects, with focus on Cerrado vegetation domain. The fire plays a determinant role on the structure and composition of Cerrado physiognomies. This ontology will be part of the GeoLinked Data Ontology network to enrich the web of data with geospatial data, especially with regard the wood plant dynamics. The burns in the vegetation are typically described in terms of burned area or extension, location, duration, severity, frequency along with other measurements when available. Therefore, these variables were taken into account to build the ontology. In addition, other very important information are the causes and effects. Currently, the main cause of burn in Cerrado is anthropogenic, that is, a human action that set fire in the vegetation. However, the natural lightnings can produce fire in the beginning of the raining season and some evidence suggest the presence of fire in savannas' history, long before human influence. Some important effects of fires were considered, mainly those directly related to wood plant dynamics in Cerrado, which is the focus of the network ontology which this ontology is part of. Wildland fires are described as uncontrolled burn in opposition to controlled burn like cool-season fires and high-intensity fires used for environmental management.

10.5. Fire Ontology Description

The burn in vegetation is typically described in terms of burned area or extension, location, duration, severity, frequency along with other measurements when available. Therefore, these variables were taken into account to build the ontology. In addition, other very important information are the causes and main affects (Figure 1). For thousands of years, natural fires, during the wet season, and anthropogenic fires, during the dry season, coexisted in the Cerrado region [1]. Currently, the main cause of burn in Cerrado is anthropogenic, that is, a human action that lead to a fire in the vegetation. Organisms that inhabit Cerrado are adapted not to fire events but to fire regimes. For

vegetation, fire frequency and season are especially important since fire occurrence may affect population dynamics [1]. Thus, important effects of fires were considered, mainly those directly related to wood plant dynamics, which is the focus of the network ontology that his ontology is part of. Wildland fires are described as uncontrolled fires in opposition to controlled fires like cool-season fires and high-intensity fires used for environmental management.



Figure 1. Graphical representation of some classes and object properties of Fire Ontology.

10.6. Classes

- [Anthropogenic cause](#)
- [Area burned](#)
- [Brush fire](#)
- [Burn Severity](#)
- [Cause](#)
- [Consecutive rainless days](#)
- [Controlled fire](#)
- [Cool-season fire](#)
- [death rate](#)
- [Duration](#)
- [Ecosystem effect](#)
- [Effect](#)
- [Effect on plant](#)
- [Ending point](#)
- [Ending time](#)
- [environmental condition](#)
- [Establishment](#)
- [Extension](#)
- [Fire](#)
- [Fire characteristic](#)

- [Fire frequency](#)
- [Fire history](#)
- [Fire Intensity](#)
- [Fire risk](#)
- [Flame height](#)
- [Flowering](#)
- [Forest fire](#)
- [Fruit and Seed Production](#)
- [Fuel](#)
- [Germination](#)
- [Harzard-reduction fire](#)
- [High-intensity fire](#)
- [Ignition probability factor](#)
- [Maximum temperature](#)
- [Minimum relative humidity](#)
- [Natural cause](#)
- [Observed risk](#)
- [Out of control fire](#)
- [Plant Mortality](#)
- [Plant resprout](#)
- [Precipitation](#)
- [Scrub fire](#)
- [Spatial Entity](#)
- [Speed](#)
- [Spread](#)
- [Starting point](#)
- [Starting time](#)
- [Temporal Entity](#)
- [Top kill](#)
- [Topography](#)
- [Vegetation type](#)
- [Weather](#)
- [Wildfire](#)

10.7. Properties

- [has cause](#)
- [has characteristic](#)
- [has component](#)
- [has duration](#)
- [has effect](#)
- [has ignition](#)
- [has location](#)
- [has risk](#)
- [ignites](#)
- [is caused by](#)
- [is characteristic of](#)
- [is duration of](#)
- [is effect of](#)
- [is location of](#)
- [is part of](#)
- [is risk of](#)
- [isPartOf](#)

10.8. Cross reference for Fire Ontology classes and properties

This section provides details for each class and property defined by Fire Ontology.

10.8.1. Classes

- [Anthropogenic cause](#)
- [Area burned](#)
- [Brush fire](#)
- [Burn Severity](#)
- [Cause](#)
- [Consecutive rainless days](#)
- [Controlled fire](#)
- [Cool-season fire](#)
- [death rate](#)

- [Duration](#)
- [Ecosystem effect](#)
- [Effect](#)
- [Effect on plant](#)
- [Ending point](#)
- [Ending time](#)
- [environmental condition](#)
- [Establishment](#)
- [Extension](#)
- [Fire](#)
- [Fire characteristic](#)
- [Fire frequency](#)
- [Fire history](#)
- [Fire Intensity](#)
- [Fire risk](#)
- [Flame height](#)
- [Flowering](#)
- [Forest fire](#)
- [Fruit and Seed Production](#)
- [Fuel](#)
- [Germination](#)
- [Harzard-reduction fire](#)
- [High-intensity fire](#)
- [Ignition probability factor](#)
- [Maximum temperature](#)
- [Minimum relative humidity](#)
- [Natural cause](#)
- [Observed risk](#)
- [Out of control fire](#)
- [Plant Mortality](#)
- [Plant resprout](#)
- [Precipitation](#)
- [Scrub fire](#)
- [Spatial Entity](#)

- [Speed](#)
- [Spread](#)
- [Starting point](#)
- [Starting time](#)
- [Temporal Entity](#)
- [Top kill](#)
- [Topography](#)
- [Vegetation type](#)
- [Weather](#)
- [Wildfire](#)

ANTHROPOGENIC CAUSE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#AnthropogenicCause>

Fire set by human action

has super-classes

[Cause](#)^c

AREA BURNED

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#AreaBurned>

It's the total area affected by fire in a burn event.

has super-classes

[Fire characteristic](#)^c

BRUSH FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#BrushFire>

A fire in low-growing and brush

has super-classes

[Fire](#)^c

is disjoint with

[Forest fire](#)^c, [Scrub fire](#)^c

BURN SEVERITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireSeverity>

Aboveground and belowground organic matter consumption from fire.

has super-classes

[Fire characteristic](#)^c

CAUSE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Cause>

It represents the set of causes that together or separately can lead to an event of fire

has sub-classes

[Anthropogenic cause](#)^c, [Natural cause](#)^c

is in domain of

[is caused by](#)^{op}

is in range of

[has cause](#)^{op}

CONSECUTIVE RAINLESS DAYS

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#ConsecutiveRainlessDays>

Number of consecutive days without precipitation

has super-classes

[environmental condition](#)^c

CONTROLLED FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#PrescriptionFire>

A fire set under controlled and planned situation.

has super-classes

[Fire](#)^c

has sub-classes

[Harzard-reduction fire](#)^c

is disjoint with

[Out of control fire](#)^c

COOL-SEASON FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#CoolSeasonFire>

It's a fire set during the cool season, to avoid the fire to achieve very high temperatures or to make it easy to stop it.

has super-classes

[Harzard-reduction fire](#)^c

DEATH RATE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#Mortality>

It's the number of individuals dead over time.

is equivalent to

[Plant Mortality](#)^c

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

DURATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Duration>

has super-classes

[Temporal Entity](#)^c

ECOSYSTEM EFFECT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#EcosystemEffect>

The changes on the ecosystem structure and/or functioning after an event of fire.

has super-classes

[Effect](#)^c

EFFECT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Effect>

It represents the consequences of the fire in ecosystems and individual organisms.

has sub-classes

[Ecosystem effect](#)^c, [Effect on plant](#)^c

is in domain of

[is effect of](#)^{op}

is in range of

[has effect](#)^{op}

EFFECT ON PLANT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#EffectOnPlant>

The changes on plant communities or on plant individuals after an event of fire.

has super-classes

[Effect](#)^c

has sub-classes

[Establishment](#)^c, [Flowering](#)^c, [Fruit and Seed Production](#)^c, [Germination](#)^c,
[Plant Mortality](#)^c, [Plant resprout](#)^c, [Top kill](#)^c, [death rate](#)^c

ENDING POINT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#EndingPoint>

has super-classes

[Spatial Entity](#)^c

ENDING TIME

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#EndingTime>

has super-classes

[Temporal Entity](#)^c

ENVIRONMENTAL CONDITION

IRI: <http://purl.obolibrary.org/obo/EnvironmentalCondition>

An abiotic environmental factor that influences the functioning of living organisms (Begon *et al.*, 2006).

has super-classes[Natural cause](#)^c**has sub-classes**[Consecutive rainless days](#)^c, [Fire history](#)^c, [Fuel](#)^c, [Maximum temperature](#)^c,
[Minimum relative humidity](#)^c, [Observed risk](#)^c, [Precipitation](#)^c, [Topography](#)^c,
[Vegetation type](#)^c, [Weather](#)^c**is in domain of**[is part of](#)^{op}, [meco:isPartOf](#)^{op}**is in range of**[has component](#)^{op}**ESTABLISHMENT****IRI:** <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Establishment>

The process by which a plant becomes established in a new habitat.

has super-classes[Effect on plant](#)^c**EXTENSION****IRI:** <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Extension>**has super-classes**[Spatial Entity](#)^c**FIRE****IRI:** <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Fire>

It's the rapid oxidation of a material in the exothermic chemical process of combustion, releasing heat, light, and various reaction products.

has super-classes[has ignition](#)^{op} some [Ignition probability factor](#)^c[has risk](#)^{op} some [Fire risk](#)^c**has sub-classes**[Brush fire](#)^c, [Controlled fire](#)^c, [Forest fire](#)^c, [Out of control fire](#)^c, [Scrub fire](#)^c

is in domain of

[has cause](#)^{op}, [has characteristic](#)^{op}, [has duration](#)^{op}, [has effect](#)^{op}, [has ignition](#)^{op}, [has location](#)^{op}, [has risk](#)^{op}

is in range of

[ignites](#)^{op}, [is caused by](#)^{op}, [is characteristic of](#)^{op}, [is duration of](#)^{op}, [is effect of](#)^{op}, [is location of](#)^{op}, [is risk of](#)^{op}

FIRE CHARACTERISTIC

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireCharacteristic>

Stands for those parameters used to describe the characteristics or behavior of a fire event.

has sub-classes

[Area burned](#)^c, [Burn Severity](#)^c, [Fire Intensity](#)^c, [Fire frequency](#)^c, [Flame height](#)^c, [Speed](#)^c, [Spread](#)^c

is in domain of

[is characteristic of](#)^{op}

is in range of

[has characteristic](#)^{op}

FIRE FREQUENCY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireFrequency>

The average time interval between successive fires or the number of fires within a specific period of time.

has super-classes

[Fire characteristic](#)^c

has members

[Biennial](#)ⁿⁱ, [Fire protected](#)ⁿⁱ, [Low frequency](#)ⁿⁱ, [Quadrennial](#)ⁿⁱ

FIRE HISTORY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireHistory>

Tells the occurrence of previous fire events and the patterns of its behavior.

has super-classes[environmental condition](#)^c**FIRE INTENSITY**IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireIntensity>

Energy output from fire.

has super-classes[Fire characteristic](#)^c**FIRE RISK**IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireRisk>**has super-classes**[has component](#)^{op} some [Maximum temperature](#)^c[is risk of](#)^{op} some [Fire](#)^c[has component](#)^{op} some [Observed risk](#)^c[has component](#)^{op} some [Consecutive rainless days](#)^c[has component](#)^{op} some [Minimum relative humidity](#)^c[has component](#)^{op} some [Vegetation type](#)^c**is in domain of**[has component](#)^{op}, [is risk of](#)^{op}**is in range of**[has risk](#)^{op}, [is part of](#)^{op}, [meco:isPartOf](#)^{op}**has members**[Critical](#)ⁿⁱ, [High](#)ⁿⁱ, [Low](#)ⁿⁱ, [Medium](#)ⁿⁱ, [Minimum](#)ⁿⁱ**FLAME HEIGHT**IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FlameHeight>

Its the maximum height a flame achieve in a fire event.

has super-classes[Fire characteristic](#)^c**FLOWERING**

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Flowering>

It is the production of flowers, i.e., when a sexual mature plant starts to produce flowers.

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

FOREST FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#ForestFire>

A fire that occurs in a wooded area.

has super-classes

[Fire](#)^c

is disjoint with

[Brush fire](#)^c

FRUIT AND SEED PRODUCTION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FruitAndSeedProduction>

It is the amount of fruit or seeds produced. In this usage, it reflects how the fire affects the production of fruits and seed.

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

FUEL

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Fuel>

The amount of fuel available for fire to burn.

has super-classes

[environmental condition](#)^c

GERMINATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Germination>

It is the process by which plants, fungi and bacteria emerge from seeds and spores, and begin growth. The most common example of germination is the sprouting of a seedling from a seed of an angiosperm or gymnosperm.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

HARZARD-REDUCTION FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#HarzardReductionFire>

It's a fire set in order to prevent large and severe events of burning.

has super-classes

[Controlled fire](#)^c

has sub-classes

[Cool-season fire](#)^c, [High-intensity fire](#)^c

HIGH-INTENSITY FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#HighIntensityFire>

The high-intensity fires are set in order to clear a certain area, that is, to remove all fuel material.

has super-classes

[Harzard-reduction fire](#)^c

IGNITION PROBABILITY FACTOR

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#IgnitionProbabilityFactor>

Represents the factors that together affect the likelihood of a certain are to burn or to start a fire event.

has super-classes

[ignites](#)^{op} some [Fire](#)^c

is in domain of

[ignites](#) ^{op}

is in range of

[has ignition](#) ^{op}

MAXIMUM TEMPERATURE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#MaximumTemperature>

It is a measure of the thermal energy per particle of matter or radiation; it is measured by a thermometer, which may be calibrated in any of various temperature scales, Celsius, Fahrenheit, Kelvin, etc (<http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature>).

has super-classes

[environmental condition](#) ^c

MINIMUM RELATIVE HUMIDITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#MinimumRelativeHumidity>

The minimum relative amount of whater vapour in the atmosphere

has super-classes

[environmental condition](#) ^c

NATURAL CAUSE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#NaturalCause>

Natural agents that cause fire on vegetation

has super-classes

[Cause](#) ^c

has sub-classes

[environmental condition](#) ^c

OBSERVED RISK

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#ObservedRisk>

It is based on data observed on meteorological stations and combined with occurrence of burning outbreaks detected by INPES's satellite monitoring system.

has super-classes

[environmental condition](#)^c

OUT OF CONTROL FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#UncontrolledFire>

Fires that were not planned, but were started by arson, accident or lightning and burn out-of-control.

has super-classes

[Fire](#)^c

has sub-classes

[Wildfire](#)^c

is disjoint with

[Controlled fire](#)^c

PLANT MORTALITY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#PlantMortality>

The death of plants caused by fire.

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

PLANT RESPROUT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#PlantResprout>

It's when the fire event influence the plant individuals to resprout, that is, the fire can induce the growth of new branches as well the vegetative reproduction of some fire resistant species.

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

PRECIPITATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/meco#Precipitation>

Any product of the condensation of atmospheric water vapour that falls under gravity
(<http://en.wikipedia.org/wiki/Precipitation>)

has super-classes

[environmental condition](#)^c

SCRUB FIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#ScrubFire>

A fire in scrubby trees.

has super-classes

[Fire](#)^c

is disjoint with

[Brush fire](#)^c

SPATIAL ENTITY

IRI: <http://ecoinformatics.org/oboe/oboe.1.0/oboe-spatial.owl#SpatialEntity>

It's the entity used to describe the spatial relations between entities or other elements.

has sub-classes

[Ending point](#)^c, [Extension](#)^c, [Starting point](#)^c

is in domain of

[is location of](#)^{op}

is in range of

[has location](#)^{op}

SPEED

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireSpeed>

it's the average speed of the fire front.

has super-classes

[Fire characteristic](#)^c

SPREAD

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#FireSpread>

It's how the fire event is spreading, the directions.

has super-classes

[Fire characteristic](#)^c

STARTING POINT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#StartingPoint>

has super-classes

[Spatial Entity](#)^c

STARTING TIME

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#StartingTime>

has super-classes

[Temporal Entity](#)^c

TEMPORAL ENTITY

IRI: <http://ecoinformatics.org/oboe/oboe.1.0/oboe-temporal.owl#TemporalEntity>

It's the entity used to describe the temporal relationships between entities or other elements.

has sub-classes

[Duration](#)^c, [Ending time](#)^c, [Starting time](#)^c

is in domain of

[is duration of](#)^{op}

is in range of

[has duration](#)^{op}

TOP KILL

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#TopKill>

It's the death of only the above ground biomass of a plant.

has super-classes

[Effect on plant](#)^c

TOPOGRAPHY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Topography>

Certain topography features are more likely to burn than others.

has super-classes

[environmental condition](#)^c

VEGETATION TYPE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#VegetationType>

It is the type of vegetation to be considered in the calculation of fire risk.

has super-classes

[environmental condition](#)^c

WEATHER

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Weather>

Weather is the state of the atmosphere, to the degree that it is hot or cold, wet or dry, calm or stormy, clear or cloudy. Generally refers to day-to-day temperature and precipitation activity.

Source: wikipedia.org

has super-classes

[environmental condition](#)^c

WILDFIRE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#Wildfire>

A fire burning in wildland fuel.

has super-classes

[Out of control fire](#)^c

10.8.2. Object Properties

- [has cause](#)
- [has characteristic](#)
- [has component](#)
- [has duration](#)
- [has effect](#)
- [has ignition](#)
- [has location](#)
- [has risk](#)
- [ignites](#)
- [is caused by](#)
- [is characteristic of](#)
- [is duration of](#)
- [is effect of](#)
- [is location of](#)
- [is part of](#)
- [is risk of](#)
- [isPartOf](#)

HAS CAUSE

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasCause>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Cause](#)^c

is inverse of

[is caused by](#)^{op}

HAS CHARACTERISTIC

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasCharacteristic>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Fire characteristic](#)^c

is inverse of

[is characteristic of](#)^{op}

HAS COMPONENT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/meco#hasComponent>

has domain

[Fire risk](#)^c

has range

[environmental condition](#)^c

is inverse of

[meco:isPartOf](#)^{op}, [is part of](#)^{op}

HAS DURATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasDuration>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Temporal Entity](#)^c

is inverse of

[is duration of](#)^{op}

HAS EFFECT

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasEffect>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Effect](#)^c

is inverse of

[is effect of](#)^{op}

HAS IGNITION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasIgnition>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Ignition probability factor](#)^c

is inverse of

[ignites](#)^{op}

HAS LOCATION

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasLocation>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Spatial Entity](#)^c

is inverse of

[is location of](#)^{op}

HAS RISK

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#hasRisk>

has domain

[Fire](#)^c

has range

[Fire risk](#)^c

is inverse of

[is risk of](#)^{op}

IGNITES

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#ignites>

has domain

[Ignition probability factor](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has ignition](#)^{op}

IS CAUSED BY

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#isCausedBy>

has domain

[Cause](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has cause](#)^{op}

IS CHARACTERISTIC OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#isCharacteristicOf>

has domain

[Fire characteristic](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has characteristic](#)^{op}

IS DURATION OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#isDurationOf>

has domain

[Temporal Entity](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has duration](#)^{op}

IS EFFECT OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#isEffectOf>

has domain

[Effect](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has effect](#)^{op}

IS LOCATION OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#isLocationOf>

has domain

[Spatial Entity](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has location](#)^{op}

IS PART OF

IRI: <http://www.fao.org/aims/aos/cwr.owl#isPartOf>

has equivalent properties

[ccon:isPartOf](#)^{op}

has domain

[environmental condition](#)^c

has range

[Fire risk](#)^c

is inverse of

[has component](#)^{op}

IS RISK OF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/fire#isRiskOf>

has domain

[Fire risk](#)^c

has range

[Fire](#)^c

is inverse of

[has risk](#)^{op}

ISPARTOF

IRI: <http://Cerrado.linkeddata.es/ecology/ccon#isPartOf>

has equivalent properties

[is part of](#)^{op}

has domain

[environmental condition](#)^c

has range

[Fire risk](#)^c

is inverse of

[has component](#)^{op}

10.9. References

- [1] Miranda, H. S., Sato, M. N., Nascimento Neto, W., & Aires, F. S. (2009). [Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna](#). In *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics* (Vol. 2, pp. 427–450). Springer Berlin Heidelberg.
- [2] W3C OWL Working Group. [OWL 2 Web Ontology Language: Overview](#). 27 October 2009. W3C Recommendation.

10.10. Acknowledgements

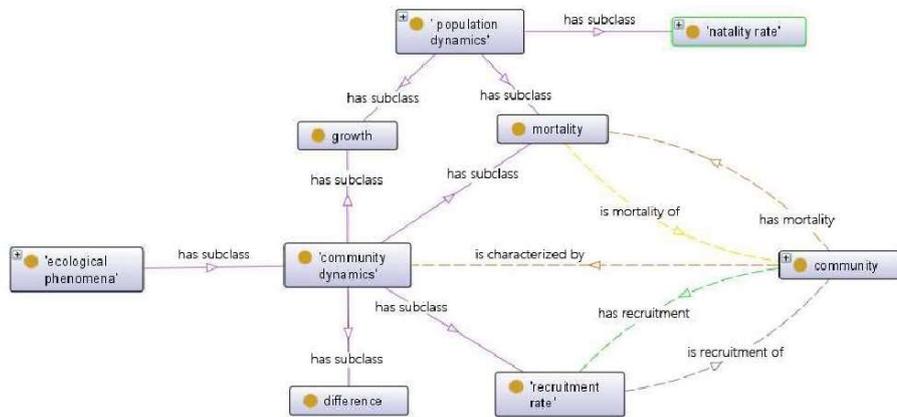
The authors would like to thank [Silvio Peroni](#) for developing [LODE](#), a Live OWL Documentation Environment used for representing the Cross Referencing Section of this document and [Daniel Garijo](#) for developing the script used to create the template of this document.

APÊNDICE C

Ontology evaluation CCO_n (Cerrado Concepts and dynamics Ontology)

This questionnaire aims to evaluate the quality of the ontology in terms of concepts, definitions and relationships between concepts. We kindly ask the experts to examine the images, the full ontology documentation following this link (<http://cerradogeolinkeddata.blogspot.com.es/2013/11/cerrado-concepts-and-wood-plant.html>) and any other information provided and then to answer the questions. The evaluator can freely examine the material while answering the questions in order to provide the most appropriate feedback to improve the quality of the ontologies.

Figure 1. The image bellow shows the classes and relationships of community dynamics.



1. 1. What parameters would you add or remove in the Figure 1?

.....

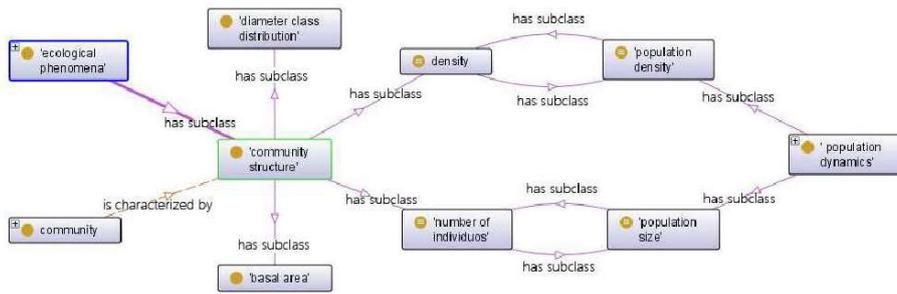
.....

.....

.....

.....

Figure 2. The image bellow represents the classes and relationships of plant community structure.



2. 2. What parameters would you add/remove in Figure 2?

.....

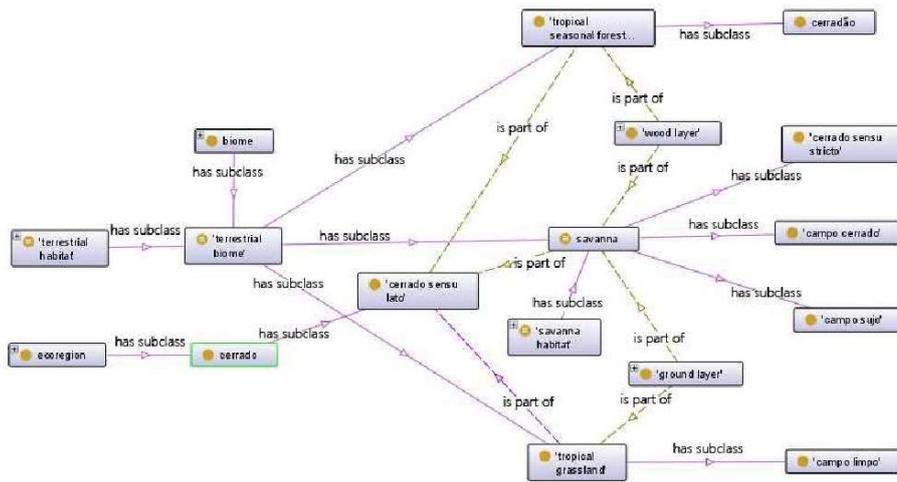
.....

.....

.....

.....

Figure 3. The figure below represents the relationships between concepts of Cerrado physiognomies

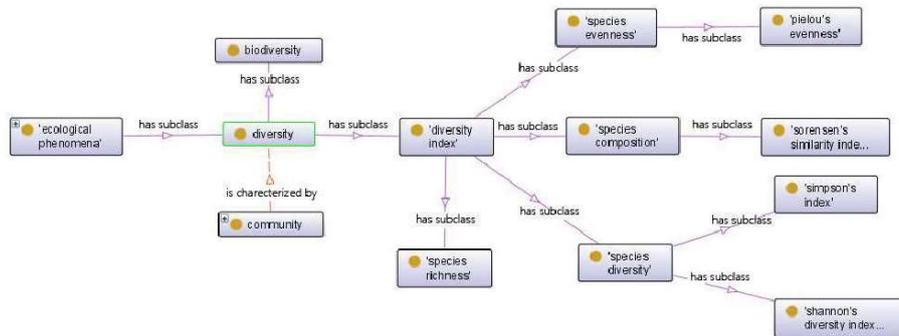


3. 3. How do you agree with the relationships represented in the Figure 3 above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

Figure 4. The figure bellow represents the diversity concept modeled in the ontology.



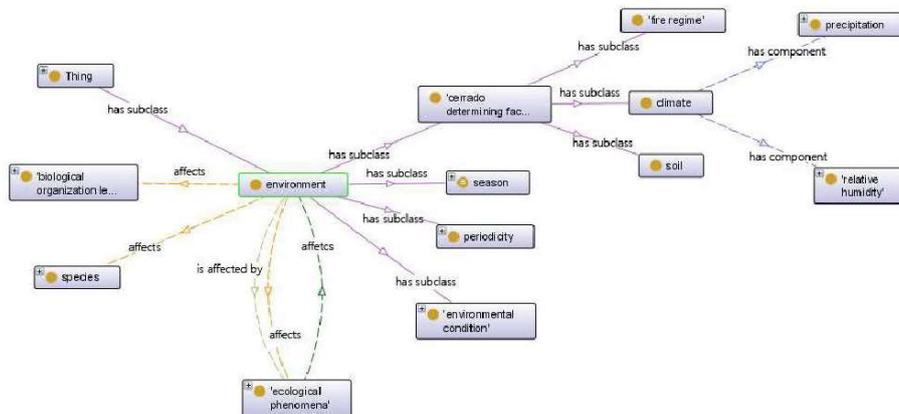
4. The Figure 4 above correctly represents concepts and relationships regarding biological diversity.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

Figure 5. The figure bellow represents the environment concept modeled and the determining factors of the actual distribution of the cerrado vegetation domain.



5. The Figure 5 above correctly represents concepts and relationships regarding environmental conditions and determining factors of the actual geographical distribution of the cerrado vegetation domain.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

6. With regard the Figure 5 which elements (concepts and relationships) would you change, add or remove?

.....

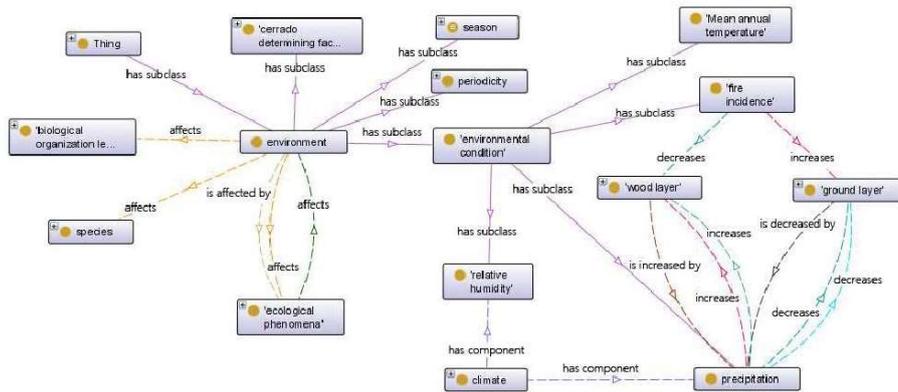
.....

.....

.....

.....

Figure 6. The figure bellow represents the environment concept modeled and the environmental conditions affecting the actual distribution of the cerrado vegetation domain.



7. The Figure 6 above correctly represents concepts and relationships regarding environmental conditions affecting the actual geographical distribution of the cerrado vegetation domain.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

8. With regard the Figure 6 which elements (concepts and relationships) would you change, add or remove?

.....

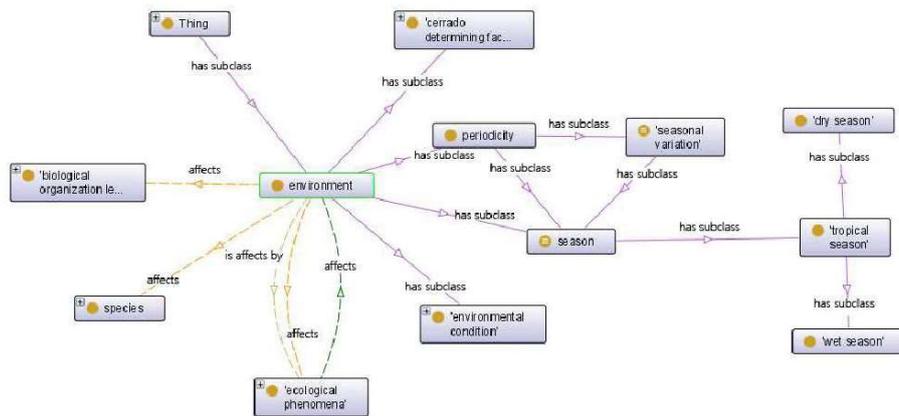
.....

.....

.....

.....

Figure 7. The figure bellow represents the environment concept modeled and the seasonal variation that occurs in the Cerrado domain.



9. The Figure 7 above correctly represents concepts and relationships regarding seasonal variation of the cerrado.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

10. Which terms are missing in the ontology?

Provide as many terms or concepts as you may think that are currently missing and would help to improve the ontology completeness.

.....

.....

.....

.....

.....

11. If you have provided any term or concept in the previous question, in which position in the ontology would you add them?

You can say, for example, the suggested term "X" can be added as a subclass of the term "ecosystem", or the term "Y" can be added as an instance of the class "species", or the term "Z" can be added as a property.

.....

.....

.....

.....

.....

12. Are there misused concepts or terms? If yes, which terms were misused?

.....

.....

.....

.....

.....

13. 13. Which terms or concepts are unnecessary?

.....

.....

.....

.....

.....

14. 14. How appropriate are the concepts used in the ontology?

Mark only one oval.

- Highly appropriate
- Appropriate
- Neutral
- Inappropriate
- Highly inappropriate

15. 15. How appropriate are the relationships used between concepts in the ontology?

Mark only one oval.

- Highly appropriate
- Appropriate
- Neutral
- Inappropriate
- Highly inappropriate

16. 16. The terms and concepts used are sufficient to describe the dynamics of plant communities in Cerrado vegetation.

Choose the option which best describe your opinion on the statement above.

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

17. 17. Are there inconsistencies in ontology structure or in the nature of the relationships between concepts?

.....

.....

.....

.....

.....

18. 18. This ontology could be applied to describe the vegetation dynamics of other places?

.....
.....
.....
.....
.....

19. 19. The ontology should answer questions about...

Can you please tell me other questions that you would like the ontology to be able to give answers to?

.....
.....
.....
.....
.....

20. 20. What are your final thoughts about the ontology?

Thank you for your participation!

.....
.....
.....
.....
.....

21. Please, leave your e-mail address for further information or clarification! Thank you.

.....

APÊNDICE D

adrianobiozen@gmail.com 
[Edit this form](#)

7 responses

[View all responses](#) [Publish analytics](#)

Summary

Figure 1. The image bellow shows the classes and relationships of community dynamics.

1. What parameters would you add or remove in the Figure 1?

I would remove the subclass called 'diference' from 'community dynamics'

I could not understand very well the relationships between MORTALITY and COMMUNITY. And also between COMMUNITY and RECRUITMENT RATE. But this does not mean that i could propose any modification of the parameters

I would add mortality rate...

Acho que faltou um conceito importante: que as comunidades têm espécies. As espécies coexistem e podem possuir efeitos negativos (competição) ou positivos (de facilitação) entre si. Assim, a dinâmica de uma população afeta outra e todas afetam a comunidade. Não entendi o objetivo desse modelo (ou até que ponto você quer representar), mas dependendo do objetivo, conceitos importantes a serem incluídos seriam: as comunidades possuem resiliência (a perturbações); possuem processos de sucessão natural

Figuras como essa são complexas, porém raramente autoexplicativas - que é o que deveriam ser. Sem explicações verbais (ou textuais) pode-se ver falhas, ou excessos, de acordo com a interpretação pura do leitor. Por exemplo: Fenômenos ecológicos iniciam a Figura (um modelo!), que termina em comunidades ... que retorna setas para dentro do modelo autoalimentando-o. O que significa, então, o finalístico "taxa de natalidade"? E "difference"? Diferença do que? Dinâmica de uma comunidade é alimentada apenas por ela mesma e pelo fenômeno ecológico? Neste caso, uma comunidade estável? O sonhado clímax? Ou: um fenômeno ecológico é (sempre) quem lhe dá origem? Onde estão as mudanças da comunidade? E quando elas pretensamente se estabilizam? Comunidades se estabilizam? Creio que o modelo pode ser repensado.

General: why not visualise is-a instead of subclass-of. It might be more readable for non-experts. I would not use the word 'dynamics' for properties of populations or communities. Instead I would use something like property, feature or quantities. Dynamics is the changing of quantities, therefore growth as a quantity is not dynamics itself. The concept difference seems weird. Is it really a property of the community? Or of the system as a whole? Perhaps a concept of situation/state

would help here. There can be 'differences' between values of quantities between states. The knowledge representation of QR might really help here. The word difference is difficult to understand without the documentation.

It seems complete.

Figure 2. The image bellow represents the classes and relationships of plant community structure.

2. What parameters would you add/remove in Figure 2?

May be information about species diversity. Or information of medium size, with the objective to understanding carbon stock. Make sense ?

Visualisation: Why not just indicate equivalence instead of has subclass in both directions. It would be more easy to read. I typically use the word phenomena to mean the behaviour of a system. Community structure in that sense can be a ecological phenomena. However, in what sense does this information help in the ontology? Is it not superfluous? I would disagree that population density and population size are population dynamics. Again, I would say they are quantities, and the change of quantities is actually the dynamics.

No caso de dinâmica é até mais fácil sumarizar sua origem direta num fenômeno ecológico (apesar de haver mais parâmetros). Em estrutura, porém, o modelo deverá ser revisto. No caso de plantas, uma comunidade, ou a vegetação, é a expressão das plantas que nela ocorrem. Uma mata é mata pois é dominada por espécies de árvores, enquanto um campo é campo porque faltam árvores e dominam ervas. Esses fatores bióticos estão considerados no modelo? Para as Figuras 1 e 2, onde entram os fatores abióticos. Tudo está implícito em fenômenos ecológicos? Em ambos os modelos, a dinâmica de populações parece ter um papel importante, mas a figura não expressou essa importância ... especialmente no caso da estrutura. Afinal, espécies (espécies!) entram e se extinguem numa comunidade, frequentemente alterando a estrutura! Pense nisso. Onde entram os fatores abióticos?

It seems complete.

I would remove the subclass called 'density', because I think that the variable 'population density' is enough to represent this idea.

The relationships between DENSITY and POPULATION DENSITY is quite strange. Both has subclasses of each other? Maybe this is not correct. The same happens with NUMBER OF INDIVIDUOS and POPULATION SIZE

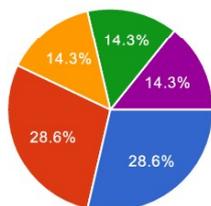
Eu acho redundante dizer que a população (de plantas) tem uma densidade e um tamanho. Eu escolheria um dos dois (densidade). Também acho que faltou um link dizendo que a estrutura da comunidade é composta por diferentes espécies.

Também acho estranho dizer que a estrutura da comunidade é uma subclasse de um fenômeno ecológico. Outra coisa: você colocou área basal (que tem a ver com

estrutura horizontal da comunidade arbórea), mas também existe a estrutura vertical (altura das árvores ou estrato arbóreo, como bosque, sub-bosque, emergente, etc). Em florestas fechadas isso tem grande importância, mas para savana nem tanto (embora isso afete o fogo, se quiser usar essa informação). Cabe refletir se quiser incluir esse conceito.

Figure 3. The figure below represents the relationships between concepts of Cerrado physiognomies

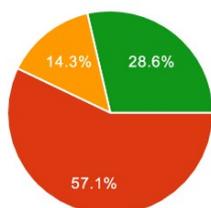
3. How do you agree with the relationships represented in the Figure 3 above?



Fully agree	2	28.6%
Agree	2	28.6%
Neutral	1	14.3%
Disagree	1	14.3%
Fully disagree	1	14.3%

Figure 4. The figure below represents the diversity concept modeled in the ontology.

4. The Figure 4 above correctly represents concepts and relationships regarding biological diversity.

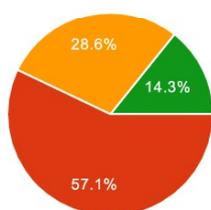


Fully agree	0	0%
-------------	---	----

Agree	4	57.1%
Neutral	1	14.3%
Disagree	2	28.6%
Fully disagree	0	0%

Figure 5. The figure bellow represents the environment concept modeled and the determining factors of the actual distribution of the cerrado vegetation domain.

5. The Figure 5 above correctly represents concepts and relationships regarding environmental conditions and determining factors of the actual geographical distribution of the cerrado vegetation domain.



Fully agree	0	0%
Agree	4	57.1%
Neutral	2	28.6%
Disagree	1	14.3%
Fully disagree	0	0%

6. With regard the Figure 5 which elements (concepts and relationships) whould you change, add or remove?

Creio que poderia incluir a Umidade poderia afetar a distribuição das espécies, já que tem nas bases de dados disponíveis esses dados....

none

Por que o destaque apenas para umidade e precipitação? Altitude? Um fator clássico que limita a distribuição de espécies. Onde entra a gênese (tempo ecológico e geológico)? O que é "Thing"?

I would add to the subclass called 'climate' the variable 'temperature'. And to 'cerrado determining fac' I would add the subclass 'water flow'. Another variable that can affect all the environments are the stochastic events.

It seems complete.

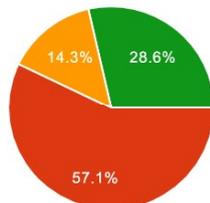
None

O solo é um dos fatores mais importantes para a determinação fisiômica no

Cerrado. Ele ficou muito reduzido, é essencial incluir que o solo tem profundidade, fertilidade e saturação de água (com esses três fatores e frequência de fogo), você pode ter boas chances de determinar qual tipo de fisionomia estará presente. Cadê os campos úmidos, as matas de galerias e matas decíduas e semidecíduas no seu estudo?? Na Figura quatro eu faria tudo diferente: não concordo que diversidade seja um fenômeno (e sim uma característica) e se pudesse incluir o conceito espécies (comunidades são feitas de espécies) seria bom. Acho interessante resslatar os seguntes conceitos existe diversidade, a diversidade pode ser estrutural, funcional e "composicional", esta última pode ser específica(espécies), sub-específica, de gênero, família, etc... Eu mudaria índice de diversidade de lugar.(De fato, me parece mais que a ontologia é sobre o conceito de índice de diversidade do que de diversidade). Dentro do conceito de diversidade (composicional) de espécies, temos a riqueza (que não seria um índice de diversidade mas simplesmente a riqueza) e a diversidade de espécies. Outro probelma, o índice de similaridade ficou como se fosse um tipo índice de diversidade (o que não é). Também acho que faltaram os conceitos de diverisdade alfa e beta 9regional e local)

Figure 6. The figure bellow represents the environment concept modeled and the environmental conditions affecting the actual distribution of the cerrado vegetation domain.

7. The Figure 6 above correctly represents concepts and relationships regarding environmental conditions affecting the actual geographical distribution of the cerrado vegetation domain.



Fully agree	0	0%
Agree	4	57.1%
Neutral	1	14.3%
Disagree	2	28.6%
Fully disagree	0	0%

8. With regard the Figure 6 which elements (concepts and relationships) would you change, add or remove?

Estou repondendo em relação à Figura seis e não cinco (já respondi isso anteriormente na pergunta seis). Não entendi bem esse negócio de periodicidade e sazonalidade como entes separados! Ora a sazonalidade é uma periodicidade intra-anual. Entendo que há variações periódicas em diferentes escalas: escalas geológicas, seculares, décadas, anuais ou períodos de El Niño, sazonalidade e variação diária. Enfim, talvez eu não tenha entendido compreendido o que quis dizer com periodicidade. Não gosto dessa representação direta de que a precipitação reduz a camada herbáceo-graminosa. Acho que o que reduz essa camada é a própria camada arbórea (sombreamento). A precipitação pode aumentar a camada arbórea que, por sua vez, reduz a ground layer. Novamente você esqueceu do solo. Nesse modelo, mais parece que as fisionomias dependem só do clima e frequência de fogo e mais nada, quando o solo explica boa parte da distribuição fisionômica do Cerrado. Se Haridasan vir vai ter um treco!!!

No, it's ok.

I did not appreciate the term THING for designing one of the classes

Disagree: 1. season is not an environment, but an environmental condition 2. periodicity is not an environment, but a property of an environmental condition 3. Environmental condition is not an environment, but a property of the environment. 5. cerrado determining fac..... I cannot find in the documentation. But I assume it is not an environment. For me a distinction between objects, properties of objects, particular values for properties etc. would make the ontology more ontologically correct.

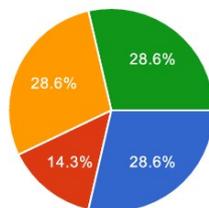
Parece uma tentativa mais complexa de 5, onde temperatura entrou, mas faltam elementos como no 5.

Poderia incluir ações antrópicas ? proximidade de regiões que tem agricultura e pecuária, cidades,

Don't change anything.

Figure 7. The figure bellow represents the environment concept modeled and the seasonal variation that occurs in the Cerrado domain.

9. The Figure 7 above correctly represents concepts and relationships regarding seasonal variation of the cerrado.



Fully agree	2	28.6%
Agree	1	14.3%
Neutral	2	28.6%
Disagree	2	28.6%
Fully disagree	0	0%

10. Which terms are missing in the ontology?

none

Acho que Ambiente tem um tipo de (regional) climate, o climate pode ser (tem uma subclasse) tropical. E o clima tropical tem uma sazonalidade e a sazonalidade tem uma estação chuvosa e outra seca. Seria legal incluir a periodicidade anual ou que represente intervalos de tempo entre El niño, que tem tido grande influência no crescimento e mortalidade de florestas tropicais.

Disagree: 1. Season is not a seasonal variation 2. Season is not a periodicity 3. Season is not an environment 4. Environmental condition is not an environment similar to question 8

Mesmos argumentos.

The terms that I suggested have been cited in the items above. Maybe the term ecosystem, as a class superior to the environment.

11. If you have provided any term or concept in the previous question, in which position in the ontology would you add them?

I would suggest adding a meta-ontology between OWL and this ontology. This meta-ontology should clearly distinguish objects, properties, values, changes in values, situations etc. For me, the QR classification is helpful, but there must be many ontologies that can be reused for the purpose.

Creio ser necessário repensar elementos ausentes e como ficariam as novas ligações de setas em todos.

Yeah, that's the idea. One of the most important, I think, the idea that the environment belongs to the ecosystem.

12. Are there misused concepts or terms? If yes, which terms were misused?

Thing

Thing?

Acho que mencionei nas respostas anteriores. Mas podemos conversar pessoalmente, seria melhor.

no

See question 10.

NO, I don't think so.

13. Which terms or concepts are unnecessary?

I did not saw any unnecessary term or concept

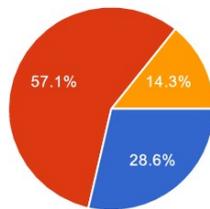
Repensar muito na figura 3 "savana" alimentando o Cerrado sensu lato. Cerradão e Floresta Estacional. É este o vínculo?

It is difficult to say. The description of the ontology would be better with the following improvements: 1. A description a real application of the ontology 2. An instance level description of a number of situations in the domain (drawn from the application). 3.

Separation of domain concepts from the knowledge representation

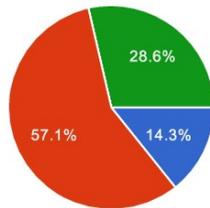
I think that the term 'thing'...

14. How appropriate are the concepts used in the ontology?



Highly appropriate	2	28.6%
Appropriate	4	57.1%
Neutral	1	14.3%
Inappropriate	0	0%
Highly inappropriate	0	0%

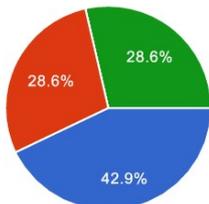
15. How appropriate are the relationships used between concepts in the ontology?



Highly appropriate	1	14.3%
Appropriate	4	57.1%
Neutral	0	0%
Inappropriate	2	28.6%

Highly inappropriate 0 0%

16. The terms and concepts used are sufficient to describe the dynamics of plant communities in Cerrado vegetation.



Fully agree 3 42.9%
 Agree 2 28.6%
 Neutral 0 0%
 Disagree 2 28.6%
 Fully disagree 0 0%

17. Are there inconsistencies in ontology structure or in the nature of the relationships between concepts?

I think not.

Sim!

I think there are not formal inconsistencies, but there seem to be conceptual problems. Particularly, care should be given to make sure that the subclass relations (which are better rewritten as is-a relations) are all correct (or that the names of the concepts are in such a way that it is clear that they are all correct).

There is not much complexity between the variables to evaluate if the the nature of the relationships are correct...

No

18. This ontology could be applied to describe the vegetation dynamics of other places?

É difícil uma aplicação generalizada, até pela diversidade com que as savanas são ambiental e antropicamente submetidas/tratadas mundo afora. As gêneses são diferentes, com resultados não necessariamente iguais .. ainda que as tratemos dentro da mesma "taxonomia"!

Could be used as base, but many terms are specific to cerrado vocabulary

Sure, it can be a basis for creating ontologies for other area.

Yes, but this would require the domain specific aspects (Cerrado) to be separated from the more domain-independent aspects. Probably it is a good idea to have

multiple levels in the ontology (in different files). 1. Meta-level (objects, properties, values, etc) 2. Ecology level (individuals, growth, etc.) 3. Domain level (Cerrado concepts

Yes, it could be reused. There some local therns about the local biome cerrado that are not reusable, but the ideas above are.

19. The ontology should answer questions about...

The ontology could give answers about the other types of use of one single term, for instance. The ontology could be useful too to show hierarchy relationships between diferent concepts.

Analisar o estoque de carbono. Realizar monitoramento em Unidades de Conservação localizadas no cerrado, permitindo a coleta periódica de dados, para avaliar possíveis perda de biodiversidade.

Unfortunately i do not have any special ideal to help you with.

Como sintetizar conhecimentos de forma simples, direta e correta para o leitor/usuário? Para tal, a base conceitual deve ser sólida

Boa pergunta. Eu gostaria de saber quais as perguntas que você quis reponder com a ontologia. e eu vou ter que pensar mais para responder isso. Parabéns, acho que com poucas alterações ficará muito bom. Abraços, Iris

Other questions than which ones?

20. What are your final thoughts about the ontology?

The ontology is well described. Covering all the terms and conditions for the Cerrado. By being so full, I think it can become the basis for other ontogias other environments.

Uma ótima ferramenta para permitir a integração de diferentes sistemas e permitir análise de dados envolvendo diferentes sistemas ou então em sistemas de Big Data.

They do sound very good and clear to me. Congratulations!

I really like the idea of using an ontology to annotate data. This ontology seems to be a step in the right direction. However, I think it needs further work. Particularly: 1. The different conceptual levels in the ontology should be made more clear. 2. There should be a more global description of the intended application of the ontology, and examples of how the resulting knowledge bases would work. 3. From the ontology alone, it is difficult to give an assessment. It could work perfectly in an application. Also, I could have a different interpretation of particular concepts than the intended meaning (which could make the is-a relations correct). How it is used is just as important as the ontology. Jochem: jochem.liem@gmail.com

That's a very hard work, since we've some many concetps spread out in media, books and articles. It is a hard work and it can helps a lot students and reseachers around the world.

**Please, leave your e-mail address for further information or clarification!
Thank you.**

isabellagontijo@gmail.com

cleverton.borba@gmail.com

m.morandini@usp.br

pedro.correa@usp.br

Number of daily responses

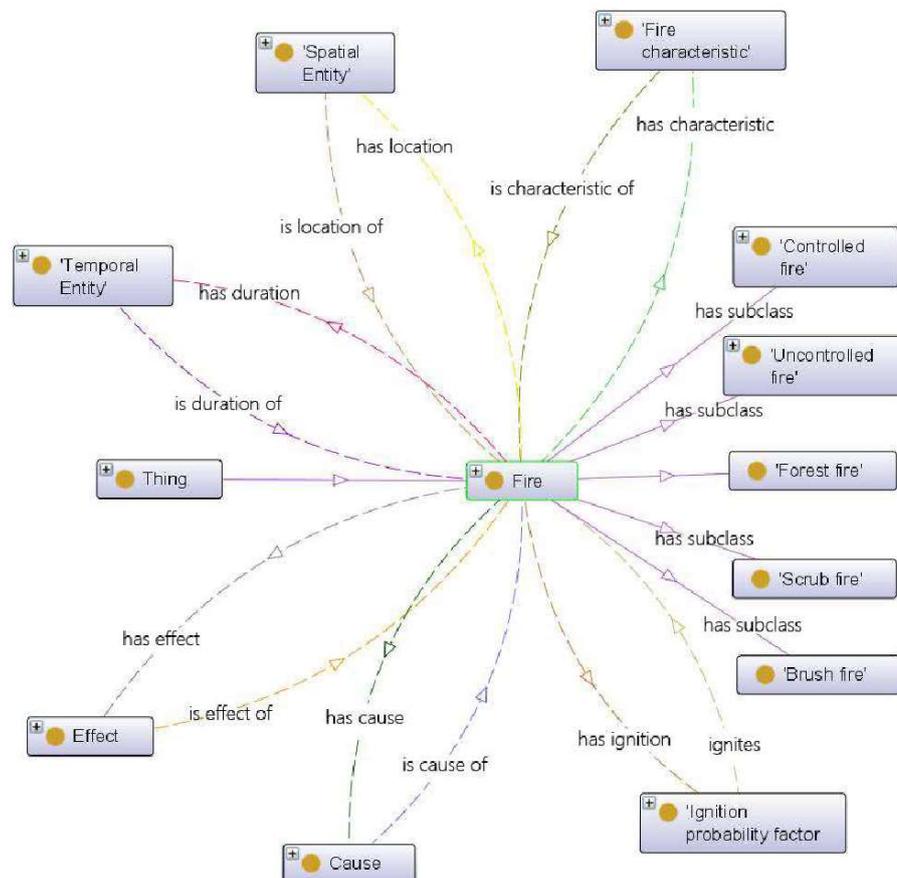


APÊNDICE E

Ontology evaluation Fire Ontology

This questionnaire aims to evaluate the quality of the ontology in terms of concepts, definitions and relationships between concepts. We kindly ask the experts to examine the images, the full ontology documentation following this link (<http://cerradogeolinkeddata.blogspot.com.es/2013/11/fire-ontology.html>) and any other information provided and them to answer the questions. The evaluator can freely examine the material while answering the questions in order to provide the most appropriate feedback to improve the quality of the ontologies.

Figure 1. The image bellow shows the main classes and relationships of fire ontology



1. 1. What elements would you add or remove in the Figure 1?

.....

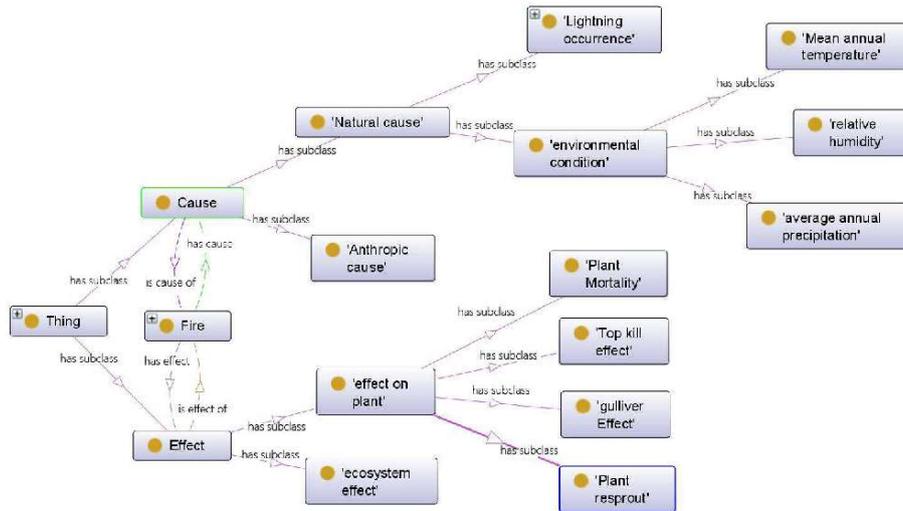
.....

.....

.....

.....

Figure 2. The image bellow represents the classes and relationships of plant community structure.



2. 2. What causes and effects of fire in Cerrado would you add or remove in Figure 2?

.....

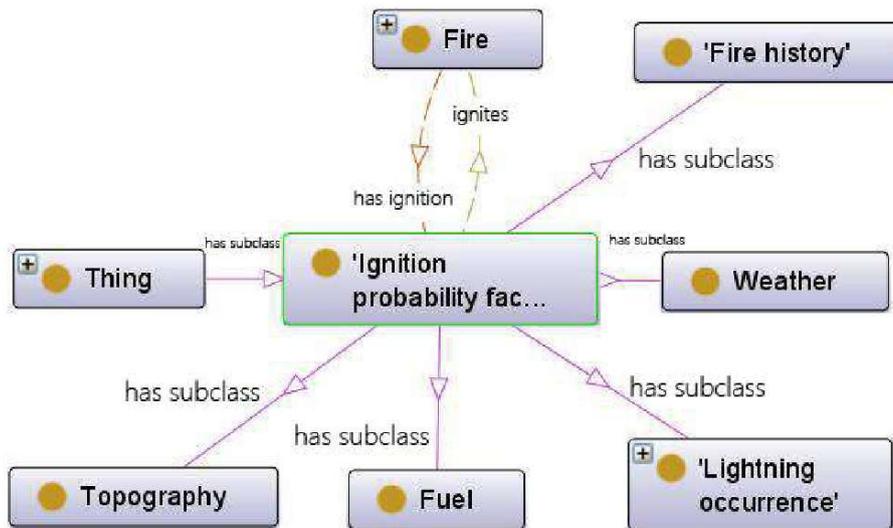
.....

.....

.....

.....

Figure 3. The figure bellow represents the main elements that contribute to increase the ignition probability.



3. 3. The Figure 3 above shows the most important factors that contribute to increase the ignition probability.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

4. 4. Would you add or remove ignition factors to the Ontology?

.....

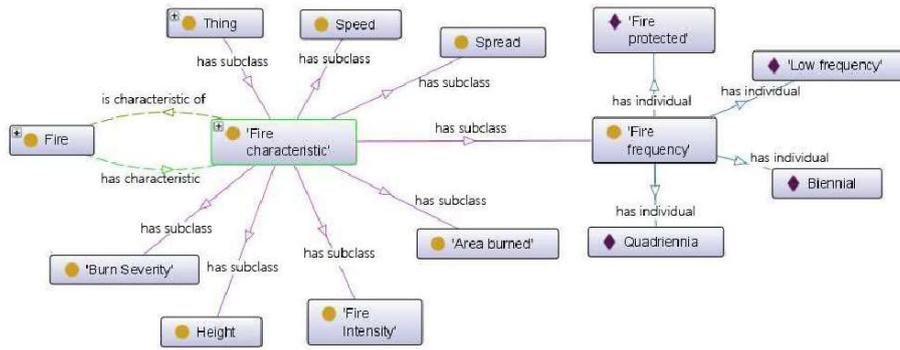
.....

.....

.....

.....

Figure 4. The figure bellow represents the fire characteristics.



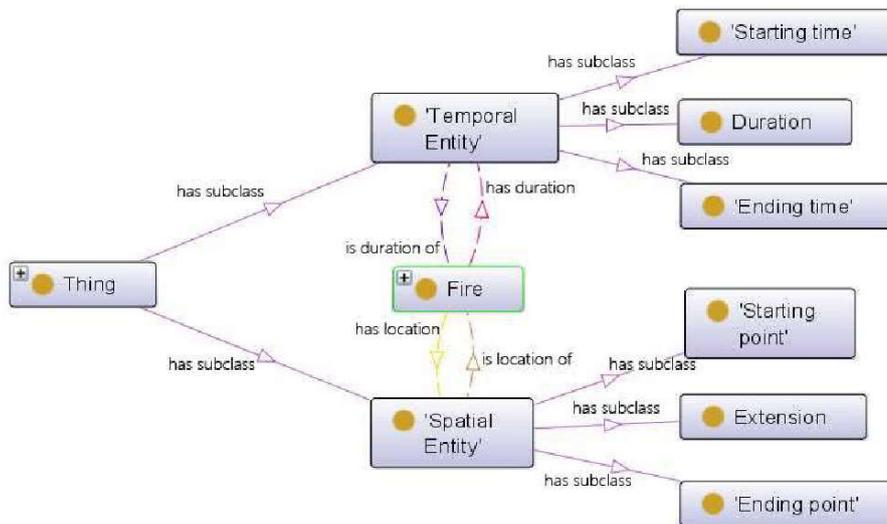
5. The Figure 4 above correctly represents concepts to describe the characteristics of a fire event.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

Figure 5. The figure bellow represents the environment concept medeled and the determining factors of the actual distribution of the cerrado vegetation domain.



6. The Figure 5 above correctly represents concepts and relationships regarding temporal and spatial relations of fire events.

Do you agree with the statement above?

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

7. With regard the Figure 5 which elements (concepts and relationships) would you change, add or remove?

.....

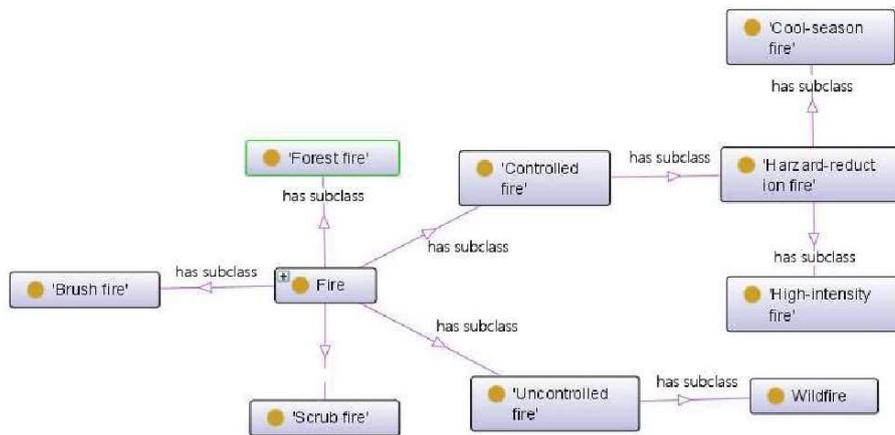
.....

.....

.....

.....

Figure 6. The figure below represents the types of fire. It is classified based on the vegetation type it occurs and if it is under human control or not.



8. Would you change, add or remove any element of the Figure 6 above? If yes, what are the things you would do?

.....

.....

.....

.....

.....

9. 9. Which terms are missing in the ontology?

Provide as many terms or concepts as you may think that are currently missing and would help to improve the ontology completeness.

.....

10. 10. If you have provided any term or concept in the previous question, in which position in the ontology would you add them?

You can say, for example, the suggested term "X" can be added as a subclass of the term "fire", or the term "Y" can be added as an instance of the class "controlled fire", or the term "Z" can be added as a property.

.....

11. 11. Are there misused concepts or terms? If yes, which terms were misused?

.....

12. 12. Which terms or concepts are unnecessary?

.....

13. 13. How appropriate are the concepts used in the ontology?

Mark only one oval.

- Highly appropriate
- Appropriate
- Neutral
- Inappropriate
- Highly inappropriate

14. 14. How appropriate are the relationships used between concepts in the ontology?

Mark only one oval.

- Highly appropriate
- Appropriate
- Neutral
- Inappropriate
- Highly inappropriate

15. 15. The terms and concepts used are sufficient to describe the dynamics of plant communities in Cerrado vegetation.

Choose the option which best describe your opinion on the statement above.

Mark only one oval.

- Fully agree
- Agree
- Neutral
- Disagree
- Fully disagree

16. 16. Are there inconsistencies in ontology structure or in the nature of the relationships between concepts?

.....

.....

.....

.....

.....

17. 17. The ontology should answer questions about..

Can you please tell me other questions that you would like the ontology to be able to give answers to?

.....

.....

.....

.....

.....

18. 18. What are your final thoughts about the ontology?

Thank your for your participation!

.....

.....

.....

.....

.....

19. Please, leave your e-mail address for further information or clarification! Thank you.

Powered by
 Google Forms

APÊNDICE F

adrianobiozen@gmail.com 
Edit this form

5 responses

[View all responses](#) [Publish analytics](#)

Summary

Figure 1. The image bellow shows the main classes and relationships of fire ontology

1. What elements would you add or remove in the Figure 1?

I assume a knowledge base would talk about potential fires. One issue is whether the ignition probability is property of vegetation, and or of a fire? Does the knowledge base have all possible fires? Can a fire cover multiple instances of vegetation? If so, how to deal with the ignition probability of each one of them. It is difficult to assess without an example. For now, I would go with the probability of ignition being a property of vegetation, and not of a particular fire.

Maybe some information about time (when occur).

I think that is a missing a subclass that include the fire over vegetation, in a general way before to go the subclasses forest, scrub and brush...Another point that I thought it was not so clear: the fire has a cause, and it's a cause too? This I didn't understand... Maybe the fire is something that has an intensity, or a energy consumption that can be result of its own action, but the fire as a cause of fire, I realized a little bit strange...

parece-me que a figura está ok.

Is quite complete.

Figure 2. The image bellow represents the classes and relationships of plant community structure.

2. What causes and effects of fire in Cerrado would you add or remove in Figure 2?

Would not change anything.

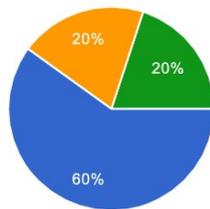
Entre as condições ambientais que favorecem a ocorrência natural das queimadas está a disponibilidade de biomassa vegetal, além a umidade, precipitação e temperatura.

None

Perhaps some anthropogenic causes: 1. camp fires 2. cigarettes It depends whether this is relevant to the application of the ontology. If it is not relevant, why is a lightning occurrence relevant? Examples of ecosystem effects are probably also relevant? Perhaps add some examples there. They are currently not there (or just not shown). If there are not important, why is ecosystem effect important. Can it be removed?

Figure 3. The figure bellow represents the main elements that contribute to increase the ignition probability.

3. The Figure 3 above shows the most important factors that contribute to increase the ignition probability.



Fully agree	3	60%
Agree	0	0%
Neutral	1	20%
Disagree	1	20%
Fully disagree	0	0%

4. Would you add or remove ignition factors to the Ontology?

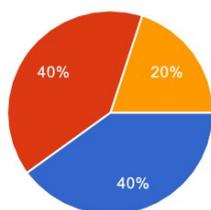
Where is the relative humidity?

A topografia não é um aspecto relevantemente relacionada com a probabilidade de ocorrência de queimadas. Talvez a proximidade de estradas e áreas de pecuária de baixa qualidade (que utiliza pastagens nativas) sejam aspectos mais relevantes.

None

Figure 4. The figure bellow represents the fire characteristics.

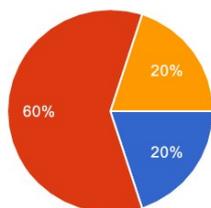
5. The Figure 4 above correctly represents concepts to describe the characteristics of a fire event.



Fully agree	2	40%
Agree	2	40%
Neutral	1	20%
Disagree	0	0%
Fully disagree	0	0%

Figure 5. The figure below represents the environment concept mediated and the determining factors of the actual distribution of the cerrado vegetation domain.

6. The Figure 5 above correctly represents concepts and relationships regarding temporal and spatial relations of fire events.



Fully agree	1	20%
Agree	3	60%
Neutral	1	20%
Disagree	0	0%
Fully disagree	0	0%

7. With regard the Figure 5 which elements (concepts and relationships) would you change, add or remove?

Would not change anything.

Isn't the fire itself a temporal entity? And starting time, etc, temporal properties?

Same comment for spatial entity.

o componente 'speed' é muito influenciado pela incidência ou não de ventos (mais

intensos no Cerrado em agosto). Se a modelagem já estiver considerando esse aspecto no componente 'speed', então creio que a figura está ok.

None

Figure 6. The figure bellow represents the types of fire. It is classified based on the vegetation type it occurs and if it is under human control or not.

8. Would you change, add or remove any element of the Figure 6 above? If yes, what are the things you would do?

None

None.

parece-me que a figura está ok.

no

9. Which terms are missing in the ontology?

none

None

I think that the ontology is quite complete.

creio que nenhum

10. If you have provided any term or concept in the previous question, in which position in the ontology would you add them?

None

11. Are there misused concepts or terms? If yes, which terms were misused?

See respective questions.

None

no

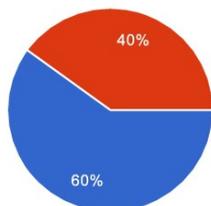
Não está claro para mim o significado do termo 'ecosystem effect'. Obviamente uma área queimada tem sua estrutura alterada (redução da biomassa, maior mortalidade de algumas espécies), mas a ocorrência do fogo contribui para a ciclagem de matéria, liberação de nutrientes e favorecimento à implantação de determinadas espécies de plantas ou animais. Não creio que a caixinha 'ecosystem effect' seja capaz de capturar tudo isso.

12. Which terms or concepts are unnecessary?

See respective questions

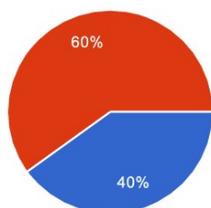
Thing

13. How appropriate are the concepts used in the ontology?



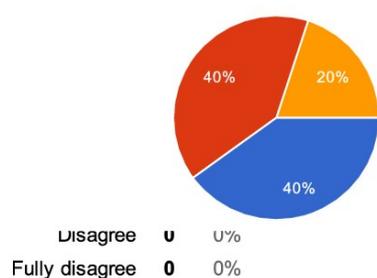
Highly appropriate	3	60%
Appropriate	2	40%
Neutral	0	0%
Inappropriate	0	0%
Highly inappropriate	0	0%

14. How appropriate are the relationships used between concepts in the ontology?



Highly appropriate	2	40%
Appropriate	3	60%
Neutral	0	0%
Inappropriate	0	0%
Highly inappropriate	0	0%

15. The terms and concepts used are sufficient to describe the dynamics of plant communities in Cerrado vegetation.



16. Are there inconsistencies in ontology structure or in the nature of the relationships between concepts?

not found

The fire is a thing? I thought that a better way to classify fire would be to call it as 'physical phenomena' or a 'physical entity'.

Não que eu tenha percebido.

See answers to earlier questions

Is difficult to analyse just with a first read.

17. The ontology should answer questions about...

a ocorrência de queimadas no Cerrado está fortemente associada com a abertura de novas áreas para o agronegócio (principalmente a pecuária). Dados do INPE sugerem que os municípios que mais desmatam no Cerrado são aqueles com maior frequência de focos de calor. Assim, a ontologia poderia considerar o componente espacial (se for uma área de fronteira, a incidência de queimada será maior)

I should support management decisions I would think. Should we act or not (in case there is a fire, or for fire management).

Monitoramento de fogo em Unidades de conservação, com objetivo de entender as causas de fogo, principalmente quando houver alguma ação antrópica ilegal.

18. What are your final thoughts about the ontology?

That's a great way to study hierarchy terms and concepts.

Ontology well described, worth and covering an important issue for the Cerrado. I think that may be the basis for an ontology to another environment.

Os dados gerados com uma ontologia poderiam ser integrados num sistema computacional para apoiar o entendimento mais claro sobre a dinâmica de ocorrência de fogo no cerrado.

Same as the other ontology. The ontology would benefit from a meta-ontology which would clarify the terms. jochem.liem@gmail.com

rbrmac62@gmail.com

**Please, leave your e-mail address for further information or clarification!
Thank you.**

isabellagontijo@gmail.com

cleverton.borba@gmail.com

pedro.correa@usp.br

Number of daily responses

