



Universidade Federal do Rio de Janeiro

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**HENRIQUE DOS SANTOS TAVARES**

**UMA ABORDAGEM BASEADA EM WORKFLOW  
PARA AUXILIAR NAS AVALIAÇÕES DE  
IMPACTOS DE MUDANÇA DE USO E  
COBERTURA DO SOLO**



Instituto de Matemática



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA  
NÚCLEO DE COMPUTAÇÃO ELETRÔNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

HENRIQUE DOS SANTOS TAVARES

UMA ABORDAGEM BASEADA EM WORKFLOW PARA AUXILIAR NAS  
AVALIAÇÕES DE IMPACTOS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO

RIO DE JANEIRO  
2010

HENRIQUE DOS SANTOS TAVARES

UMA ABORDAGEM BASEADA EM WORKFLOW PARA AUXILIAR NAS  
AVALIAÇÕES DE IMPACTOS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Informática,  
Departamento de Ciência da Computação,  
Instituto de Matemática, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro, como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Informática.

Orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Jonice de Oliveira Sampaio, D.Sc.

Prof<sup>o</sup>. Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira, Ph. D.

RIO DE JANEIRO  
2010

T231 Tavares, Henrique dos Santos.

Uma abordagem baseada em workflow para auxiliar nas avaliações de impactos de mudança de uso e cobertura do solo / Henrique dos Santos Tavares. Rio de Janeiro: UFRJ / IM / PPGI, 2010.

235 pp.

Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Matemática, Núcleo de Computação Eletrônica, Programa de Pós-graduação em Informática 2010.

Orientadores: Prof<sup>a</sup>. Jonice de Oliveira Sampaio; Prof. Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira

1. *Workflows* científicos – Teses. 2. *Giscience* - Teses. 3. Sistemas de Apoio à Decisão – Teses I. Jonice de Oliveira Sampaio (Orient.). II. Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Matemática. Núcleo de Computação Eletrônica. IV. Título.

CDD.

HENRIQUE DOS SANTOS TAVARES

UMA ABORDAGEM BASEADA EM WORKFLOW PARA AUXILIAR NAS  
AVALIAÇÕES DE IMPACTOS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO

Dissertação submetida ao corpo docente do Instituto de Matemática e do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Informática.

Aprovada em Maio de 2010

---

Prof<sup>a</sup>. Jonice de Oliveira Sampaio, D.Sc., PPGI/UFRJ

---

Prof. Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira, Ph.D., PPGI/UFRJ

---

Prof<sup>a</sup>. Lucieta Guerreiro Martorano, D.Sc., EMBRAPA

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Luiza Machado Campos, Ph.D., PPGI/UFRJ

---

Prof. Jano Moreira de Souza, Ph.D., COPPE/UFRJ

*Aos meus pais.*

# Agradecimentos

Inicialmente, agradeço aos meus orientadores, Professora Jonice de Oliveira Sampaio e Professor Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira, pela orientação, confiança, atenção e idéias indispensáveis para a conclusão desta dissertação e, Professora Lucieta Martorano, pela visão globalizada, confiança e dedicação à ciência.

Obrigado também à professora Maria Luiza Machado Campos e ao professor Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira por terem permitido que tudo isso tenha começado um dia...

Aos meus pais, Carlos Roberto e Maria José, pelo exemplo, amor, dedicação, ensinamentos e incentivos de sempre.

À Flávia, pela atenção, paciência e compreensão nos momentos em que não pude lhe dar a devida atenção.

Agradeço também aos amigos Fernanda Teixeira, Ivan Valencia, Marysol Schuler e Leila Lisboa pelas suas amizades e companheirismo nos momentos de dificuldade.

Aos amigos da Coordenação de Projetos Especiais do IBGE, Melissa Paes, Sandra Sabra, Magali Ribeiro, Bianca Sotelo, Patrícia Barros e Antônio Fernando.

Aos amigos professores da Universidade Estácio de Sá, Pablo Jabor, Rogério Pinheiro, Gerson Bartolo, Marcelo Silva e Robson Santos pelo incentivo.

E por último, mas não menos importante, à professora Margareth Simões Penello Meirelles, pela simplicidade, inteligência e amor dedicados à ciência e por ter viabilizado os trabalhos nos projetos ENVIAIR e SENSOR.

Agradeço especialmente ao professor Ubiratan Porto dos Santos (*in memoriam*) pelos exemplos de convicção e coragem sempre expressados através da luta para alcançar uma vida sempre melhor!

## Resumo

TAVARES, Henrique dos Santos. **Uma abordagem baseada em workflow para auxiliar nas avaliações de impactos de mudança de uso e cobertura do solo.** Orientadores: Prof<sup>a</sup> Jonice de Oliveira Sampaio e Prof. Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira. Rio de Janeiro: FRJ/PPGI/IM/NCE, 2010. Dissertação (Mestrado em Informática).

O presente trabalho se contextualiza no desenvolvimento econômico e social na região centro oeste do Brasil, onde pesquisadores em geociências, interessados no aumento da orientação e percepção sobre definições acerca de políticas de conservação dos remanescentes de vegetação de cerrado em confluência com o desenvolvimento socioeconômico, vêm utilizando sistemas de gerência de *workflows* científicos (SGWfC) para apoiar a realização de monitoramentos envolvendo simulações de planejamento ambiental. Estas simulações objetivam a concepção e calibração de modelos matemáticos que visam representar a atual conjuntura social, econômica e ambiental do Brasil, apoiados em mudança de uso e cobertura da terra a partir de dados do sensor MODIS. Neste contexto se insere a gerência de *workflows* científicos, onde a execução de programas para a *GIScience* carece de mecanismos de co-participação na elaboração dos fluxos de processamento e tratamento de imagens. Insere-se também a gerência de modelos de programação linear recursiva, voltada para a disseminação do conhecimento entre os pesquisadores envolvidos, através dos resultados obtidos nas simulações. Esta dissertação propõe uma arquitetura para auxiliar a gerência da execução de *workflows* científicos em *GIScience*, aliada à gerência de modelos de programação linear recursiva, tendo como funcionalidades a definição co-participativa dos *workflows* para monitoramento sobre a mudança de uso e cobertura da terra e a captura dos dados de proveniência relevantes à rastreabilidade dos monitoramentos realizados. Esta arquitetura visa à aproximação entre os modelos matemáticos usados numa determinada região de interesse, cujas imagens de satélite sejam usadas para obtenção de resultados a partir de *workflows* para monitoramento da mudança do uso e cobertura da terra numa mesma região. A validação da proposta foi realizada com um experimento real de simulação ambiental para a região da Bacia do Alto Taquari, Mato Grosso do Sul.

## Abstract

TAVARES, Henrique dos Santos. **A workflow-based approach to assist in assessing impacts of land use and cover change**. Advisors: Prof<sup>a</sup> Jonice de Oliveira Sampaio e Prof. Carlo Emmanoel Tolla de Oliveira. Rio de Janeiro: FRJ/PPGI/IM/NCE, 2010. Thesis (Master of Computer Science).

This work is contextualized in social and economic development in central west Brazil, where researchers in the geosciences, interested in increasing awareness about definitions and guidance about conservation policies of the remnants of Cerrado vegetation in confluence with the socioeconomic development, are management systems using scientific workflows (SWMS) to support the realization of simulations involving monitoring and environmental planning. These simulations aim to design and calibration of mathematical models designed to represent the current social, economic and environmental dimensions of Brazil, supported a change in use and land cover data from MODIS. Appears in this context the management of scientific workflows, where the execution of programs for GIScience lacks of co-participation in the drafting of the flow of processing and imaging. It is also part of the management recursive linear programming models, aimed at disseminating knowledge among the researchers, through simulation results. This thesis proposes an architecture to support the management of the execution of scientific workflows in GIScience, coupled with the management of recursive linear programming models, with features such as the definition of co-participatory monitoring of workflows for change of use and land cover and capture data provenance and traceability of relevant monitorings. This architecture is intended to rapprochement between the mathematical models used in a given region of interest, whose satellite images are used to getting results from workflows to monitor the change of use and land cover for the same region. The validation of the proposed experiment was performed with a real simulation environment for the Region of the High Taquari, Mato Grosso do Sul.

## Lista de Figuras

FIGURA 1 – SISTEMA DE PLANEJAMENTO, ESTRUTURA BÁSICA.....	25
FIGURA 2 - SISTEMA DE GESTÃO.....	27
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DO BANCO DE DADOS DA BACIA DO ALTO TAQUARI (BAT) PROGRAMA TERRAVIEW. FONTE: LISBOA, 2008.....	29
FIGURA 4 - DIFERENTES FEIÇÕES NA BACIA DO ALTO TAQUARI (BAT), REGISTRADAS PELO PROJETO SOS TAQUARI - EMBRAPA SOLOS.....	29
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO ALTO TAQUARI (BAT), MS.....	30
FIGURA 6 - INTERAÇÕES ENTRE A LUZ SOLAR, ATMOSFERA E SUPERFÍCIE TERRESTRE.....	37
FIGURA 7 – PROCESSO CÍCLICO E INCREMENTAL DE MODELAGEM.....	52
FIGURA 8 - PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE UM MODELO.....	53
FIGURA 9 - SIMULAÇÕES DIGITAIS COM MODELOS CONTÍNUOS OU MODELOS DISCRETOS.....	55
FIGURA 10 - DOMÍNIO ESPAÇO-TEMPORAL DA ANÁLISE ESPACIAL.....	58
FIGURA 11 - GRAFO DE CAUSA COM AS MUDANÇAS DE USO DO SOLO.....	59
FIGURA 12 - MATRIZ DE TRANSIÇÃO.....	59
FIGURA 13 - ESPIRAL DO CONHECIMENTO.....	62
FIGURA 14 – ARQUITETURA SRM.....	64
FIGURA 15 – ARQUITETURA SRM BASEADA EM SERVIÇOS WEB.....	65
FIGURA 16 - ARQUITETURA <i>SEAMLESS-IF</i> .....	68
FIGURA 17 - ORGANIZAÇÃO COMPLETA DA APLICAÇÃO SIAT PARA REALIZAÇÃO OS CÁLCULOS.....	70
FIGURA 18 - <i>FRAMEWORK</i> PARA MODELAGEM DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA E VARIÁVEIS INTERMEDIÁRIAS. .....	71
FIGURA 19 - METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO A PARTIR DE SEQÜÊNCIAS TEMPORAIS DE DADOS MODIS.....	76
FIGURA 20 - PROJEÇÃO SINUSOIDAL, APRESENTADA COM DIVISÕES EM GRANDES LADRILHOS OU TILES.....	77
FIGURA 21 - UTILIZAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO LINEAR NO DOMÍNIO TEMPORAL PARA A OBTENÇÃO DE PERFIS TEMPORAIS MAIS SUAVES E CONSISTENTES ATRAVÉS DA SUBSTITUIÇÃO DE PIXELS DE BAIXA QUALIDADE. .....	78
FIGURA 22 - PERFIS TEMPORAIS DE NDVI DAS 7 CLASSES CONSIDERADAS DISCRIMINÁVEIS A PARTIR DE DADOS TEMPORAIS MODIS COM 250M DE RESOLUÇÃO ESPACIAL.....	79
FIGURA 23- DIAGRAMA DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS PROPOSTO. CADA ESTADO EXPLICITA UMA CLASSE DE USO E COBERTURA DO SOLO E UM CONTEXTO TEMPORAL, SENDO QUE A TRANSIÇÃO ENTRE ESTADOS É DEFINIDA ATRAVÉS DA DISCRIMINAÇÃO DO TIPO DE PERFIL TEMPORAL OBSERVADO NO PONTO EM QUESTÃO DURANTE O ANO SUBSEQÜENTE. OS TIPOS POSSÍVEIS DE PERFIL TEMPORAL SÃO A (AGRICULTURA 1, 2 OU 3), P (PASTAGEM), C (CERRADO) E D (DESFLORESTAMENTO).....	81
FIGURA 24 – CATEGORIAS DOS APLICATIVOS DA CADEIA DE MONITORAMENTO.....	83
FIGURA 25 – PROGRAMAS EXTRAÍDOS A PARTIR DA PLATAFORMA.....	84
FIGURA 26 – DIAGRAMA DO MECANISMO DE SIMULAÇÃO DO SIAT USANDO OPENMI.....	87
FIGURA 27 - PROCESSO DE MONITORAMENTO DA MUDANÇA DE USO DO SOLO E AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA.....	89
FIGURA 28 – DADOS, INFORMAÇÃO E CONHECIMENTO ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO.....	92
FIGURA 29 – CAMADAS LÓGICAS DA ARQUITETURA PROPOSTA PARA AUXILIAR O MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA.....	93
FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DAS CAMADAS DA ARQUITETURA.....	94
FIGURA 31 – TELA PRINCIPAL DO SITE DO PROJETO ENVIAR.....	96
FIGURA 32 – TELA DE <i>LOGIN</i> PARA ACESSO AO SISTEMA DE.....	97
FIGURA 33 – OPÇÕES DE TAREFAS DA CADEIA DE MONITORAMENTO DISPONÍVEIS PARA A CRIAÇÃO DE UM <i>WORKFLOW</i> .....	98
FIGURA 34 - CONSTRUÇÃO DE UMA SEQÜÊNCIA DE EXECUÇÃO.....	99
FIGURA 35 – IMAGEM DO PROTÓTIPO SIAT-TTC: ESCOLHA DE UM CASO DE POLÍTICA DENTRE CANA DE AÇÚCAR OU REFLORESTAMENTO.....	100
FIGURA 36 – IMAGEM DO CASO DE POLÍTICA CANA DE AÇÚCAR: OPÇÕES INTEGRADAS DOS INDICADORES DE IMPACTO NO SIAT-TTC.....	101
FIGURA 37 – MÓDULOS DA ARQUITETURA PROPOSTA.....	106
FIGURA 38 – MODELO DE EVENTOS DO COMPONENT JGRAPH.....	109

FIGURA 39 – ANÁLISE GRAMATICAL E AVALIAÇÃO. ....	110
FIGURA 40 – DIAGRAMA DE COMPONENTES QUE DESCREVE O GERENCIADOR PRINCIPAL DO MOTOR FREEFLUO. ....	113
FIGURA 41 – DIAGRAMA DE COMPONENTES QUE DESCREVE O GERENCIADOR NÚCLEO DO MOTOR FREEFLUO. ....	113
FIGURA 42 - NÍVEIS DE ABSTRAÇÃO VS. RIQUEZA DE COMUNICAÇÃO E LINGUAGENS.....	119
FIGURA 43 – DIAGRAMA DO SPECIFICATION PATTERN.....	121
FIGURA 44 – DIAGRAMA DE CLASSES NO PROTÓTIPO SIAT-TTC.....	124
FIGURA 45 – DIAGRAMA SOBRE DOMAINOBJECT. ....	125
FIGURA 46 – INDICATOR É UM DOMAIN OBJECT, INSERIDO NA LÓGICA DO FUNCIONAMENTO DO APLICATIVO SIAT. ....	125
FIGURA 47 – DIAGRAMA ONDE REGION, REGIONS E COREREGION SÃO DOMAIN OBJECTS, INSERIDOS NO FUNCIONAMENTO LÓGICO DO APLICATIVO SIAT. ....	126
FIGURA 48– DIAGRAMA COM A REPRESENTAÇÃO LÓGICA DA CLASSE INDUSTRIALFORESTSPECIFICATION. ...	128
FIGURA 49 – DIAGRAMA COM A REPRESENTAÇÃO LÓGICA DA CLASSE PASTUREONLYSPECIFICATION.....	129
FIGURA 50 – REFACTORING APLICADO AOS PADRÕES SPECIFICATION E DOMAIN OBJECT. ....	130
FIGURA 51 – EXEMPLO DE NOVA SUBCLASSE DE POSTFIXMATHCOMMAND, A CLASSE SPECIFICATIONFUNCTION. ....	132
FIGURA 52 – ESQUEMA DE TABELAS COMO PROPOSTA DE EVOLUÇÃO NO PROTÓTIPO SIAT-TTC. ....	136
FIGURA 53 – ESTRUTURA DA TABELA SENS_SPECIFICATIONS COM A DESCRIÇÃO DAS COMBINAÇÕES POSSÍVEIS DE OPÇÕES DE POLÍTICA.....	137
FIGURA 54 – ESTRUTURA DA TABELA SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION, QUE CONTÉM AS RESPOSTAS DAS FUNÇÕES PARA TODAS AS OPÇÕES DE POLÍTICA, POR REGIÃO DE INTERESSE. ....	137
FIGURA 55 – DIAGRAMA DE CLASSES BASEADO NO PADRÃO DOMAINOBJECT.....	139
FIGURA 56 – DIAGRAMA DE CLASSES COM O ESQUEMA ARQUITETURAL DO PADRÃO TYPEOBJECT.....	139
FIGURA 57 – USO DO PADRÃO COMPOSITE PARA MANIPULAR COMBINAÇÕES ENTRE ENTIDADES.....	140
FIGURA 58 – OVERRIDING DO MÉTODO CLONE() HERDADO DA SUPERCLASSE OBJECT.....	140
FIGURA 59 – DIAGRAMA DE CLASSES USANDO O PADRÃO BUILDER.....	141
FIGURA 60 – COMPOSIÇÃO DE LINKABLECOMPONENTS.....	142
FIGURA 61 – TROCA DE VALORES E CONEXÕES ENTRE MODELOS.....	143
FIGURA 62 – HABILITANDO A CONECTIVIDADE ENTRE ENTIDADES DE MODELOS DIFERENTES.....	143
FIGURA 63 – SERVIÇO GOOGLE DOCS.....	152
FIGURA 64 – SPREADSHEET DO GOOGLE DOCS. ....	153
FIGURA 65 - ESTÁGIO INICIAL DA COBERTURA DO SOLO COM A CLASSIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA DO ANO 2000, BACIA DO ALTO TAQUARI, MS.....	155
FIGURA 66 - CONDIÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO NA SAFRA 2000/01, BACIA DO ALTO TAQUARI, MS.....	155
FIGURA 67 - CONDIÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO NAS SAFRAS 2001/02 E 2002/03, BACIA DO ALTO TAQUARI, MS.....	156
FIGURA 68 - CONDIÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO NAS SAFRAS 2003/04 E 2004/05, BACIA DO ALTO TAQUARI, MS.....	157
FIGURA 69 - CONDIÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO NAS SAFRAS 2005/06 E 2006/07, BACIA DO ALTO TAQUARI, MS.....	158
FIGURA 70 – MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA ENTRE AS SAFRAS DE 2000-2001 E 2007-2008. ....	158
FIGURA 71 – COMPORTAMENTO DO COEFICIENTE KAPPA NO DECORRER DO PERÍODO 2000-2001 E 2007-2008.....	159
FIGURA 72 - QUESTIONÁRIO DOS ESPECIALISTAS EM ESTATÍSTICA, SENSORIAMENTO REMOTO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	165

## Lista de Gráficos

GRÁFICO 1 – MODELO DE COMPORTAMENTO SOBRE A CLASSE <i>AGRICULTURA</i> .....	160
GRÁFICO 2 – DIMINUIÇÃO DA ÁREA RELATIVA AOS REMANESCENTES DE VEGETAÇÃO DE <i>CERRADO</i> .....	161
GRÁFICO 3 – MODELO DE COMPORTAMENTO SOBRE A CLASSE <i>PASTAGEM</i> .....	162
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS PARA A QUESTÃO 1.....	163
GRÁFICO 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS PARA A QUESTÃO 2.....	163
GRÁFICO 6 - DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS PARA A QUESTÃO 3.....	164
GRÁFICO 7 - DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS PARA A QUESTÃO 3.....	165
GRÁFICO 8 – DISTRIBUIÇÃO DAS RESPOSTAS SOBRE ETAPAS DO PROCESSO .....	166
GRÁFICO 9 – QUESTÃO SOBRE A FORMA DE CAPTURA DA PROVENIÊNCIA.....	167
GRÁFICO 10 – QUESTÃO SOBRE REUSO DE <i>WORKFLOWS</i> .....	167
GRÁFICO 11 - QUESTÃO SOBRE O USO DE MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR RECURSIVA EM <i>WORKFLOWS</i> . .....	168
GRÁFICO 12 - CONCENTRAÇÃO DAS RESPOSTAS OBTIDAS POR ESPECIALISTAS EM <i>WORKFLOWS</i> CIENTÍFICOS .....	169

## Lista de Tabelas

TABELA 1 - PADRÕES BÁSICOS PARA CONTROLE DE <i>WORKFLOWS</i> . .....	41
TABELA 2 – PADRÕES AVANÇADOS.....	44
TABELA 3 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ARQUITETURAS ANALISADAS .....	73
TABELA 4 – EXEMPLO DA COMPOSIÇÃO DO ARQUIVO PRM .....	84
TABELA 5 – LISTAGEM DOS SERVIÇOS DISPONÍVEIS NA ARQUITETURA PROPOSTA .....	102
TABELA 6 – LISTAGEM DE MÉTODOS HTTP DISPONÍVEIS NA APLICAÇÃO POR URIS.....	102
TABELA 7 – REGISTROS DA TABELA <i>SENS_VARIABLEXTYPE</i> .....	136
TABELA 8 - QUESTÕES SUBJETIVAS RESPONDIDAS POR ESPECIALISTAS EM MONITORAMENTO DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA E AVALIADORES DO IMPACTO NA SUSTENTABILIDADE.....	147
TABELA 9 - QUESTÕES SUBJETIVAS DIRECIONADAS AOS ESPECIALISTAS EM <i>WORKFLOWS</i> . .....	148
TABELA 10 – QUESTÕES APOIADAS NA ESCALA LIKERT, DIRECIONADAS AOS ESPECIALISTAS EM MONITORAMENTO DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA E AVALIADORES DO IMPACTO NA SUSTENTABILIDADE.....	148
TABELA 11 - QUESTÕES APOIADAS NA ESCALA LIKERT, RESPONDIDAS POR ESPECIALISTAS NAS FERRAMENTAS DE <i>WORKFLOW</i> <i>VisTrails</i> , <i>KEPLER</i> E <i>TAVERNA</i> .....	150

## Lista de Equações

EQUAÇÃO 1 – EQUAÇÃO REPRESENTATIVA PARA O COMPORTAMENTO DA <i>AGRICULTURA</i> NA <i>BAT</i> .....	160
EQUAÇÃO 2 - EQUAÇÃO REPRESENTATIVA PARA O COMPORTAMENTO DA CLASSE <i>CERRADO</i> NA <i>BAT</i> . .....	161

## **Lista de Siglas**

AOM	Adaptive-Object Model
DBC	Desenvolvimento Baseado em Componentes
MVC	Model View Control
J2EE	Java 2 Enterprise Edition
NCE	Núcleo de Computação Eletrônica
PPGI	Programa de Pós-Graduação em Informática
REST	REpresentational State Transfer
ROA	Resource Oriented Architercture
SENSOR	Sustainability of land use in European regions
SIAT	Sustainability Impact Assessment Tool
SQL	Structure Query Language
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SOA	Service-Oriented Architecture
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UML	Unified Modeling Language
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
MS	Mato Grosso do Sul
LUCC	Land Use and Cover Change
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
BAT	Bacia do Alto Taquari
NASA	National Aeronautics and Space Administration

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. MOTIVAÇÃO.....	15
1.2. OBJETIVOS .....	17
1.3. PROJETOS RELACIONADOS.....	19
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	20
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1. PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL.....	24
2.2. GEOPROCESSAMENTO .....	28
2.2.1. <i>Estudos voltados para a região da Bacia do Alto Taquari</i> .....	30
2.3. SENSORIAMENTO REMOTO.....	32
2.3.1. SÉRIES TEMPORAIS MODIS .....	36
2.3.2. <i>Classificação Digital de Imagens</i> .....	37
2.4. WORKFLOW .....	39
2.4.1. <i>Problemas conceituais com Workflow</i> .....	39
2.4.2. <i>Workflows e Sistemas Gerenciadores de Workflows</i> .....	40
2.4.3. <i>Diferenças entre workflows comerciais e científicos</i> .....	42
2.4.4. <i>Aspectos Arquiteturais de Workflows Científicos</i> .....	44
2.4.5. <i>Aspectos da Especificação de Workflows Científicos</i> .....	47
2.4.6. <i>Aspectos da Implementação de Workflows Científicos</i> .....	49
2.5. MODELOS, MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	52
2.6. MODELOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR RECURSIVA .....	56
2.6.1. <i>Modelos de simulação da dinâmica do uso do solo</i> .....	58
2.7. GESTÃO DO CONHECIMENTO .....	60
2.8. TRABALHOS RELACIONADOS .....	62
2.8.1. <i>O Ambiente AGROMET</i> .....	63
2.8.2. <i>A Arquitetura SRMW (Scientific Resource Management-Web)</i> .....	64
2.8.3. <i>O Projeto SegHidro</i> .....	65
2.8.4. <i>O projeto SEAMLESS</i> .....	66
2.8.5. <i>O projeto SENSOR</i> .....	68
2.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	71
<b>3. PROCESSO DE MONITORAMENTO DA MUDANÇA DE USO DO SOLO E AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO AGRÍCOLA .....</b>	<b>75</b>
3.1. MONITORAMENTO DA MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO .....	75
3.1.1. <i>Etapa 1 – Pré-processamento de dados MODIS</i> .....	77
3.1.2. <i>Etapa 2 - Análise de perfis temporais NDVI</i> .....	78
3.1.3. <i>Etapa 3 – Cálculo e Seleção de atributos</i> .....	79
3.1.4. <i>Etapa 4 - Adaptação da classificação de referência</i> .....	79
3.1.5. <i>Etapa 5 – Classificação</i> .....	80
3.2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCESSAMENTO APLICADO AOS DADOS.....	82
3.3. INSTRUMENTOS E OPÇÕES DE POLÍTICA .....	85
3.3.1. <i>Estratégias para opções políticas</i> .....	86
3.3.2. <i>Processo de simulação</i> .....	86
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
<b>4. ARQUITETURA PARA AUXILIAR AVALIAÇÕES DE IMPACTOS DE MUDANÇA DE USO E COBERTURA DO SOLO BASEADAS EM WORKFLOW.....</b>	<b>91</b>
4.1. ARQUITETURA PROPOSTA .....	91
4.1.1. <i>Camada de Interface Gráfica</i> .....	95
4.1.1.1. <i>Subsistema Gerenciador de Workflows</i> .....	95
4.1.1.2. <i>Subsistema Gerenciador de Modelos e Simulações</i> .....	99

4.1.2.	<i>Camada de Serviços</i> .....	101
4.1.3.	<i>Camada de Execução ou Aplicação</i> .....	103
4.1.4.	<i>Camada de Objetos Adaptáveis (AOM)</i> .....	103
4.2.	MÓDULOS COMPONENTES DA ARQUITETURA .....	105
4.2.3.	<i>Módulo componente da camada de objetos adaptáveis para workflows</i> .....	109
4.2.4.	<i>Módulo componente da camada de objetos adaptáveis para regras de conhecimento</i> .....	109
4.2.5.	<i>Módulo componente da camada de objetos adaptáveis para modelos (AOM)</i> .....	111
4.2.6.	<i>Módulo componente da camada de execução de workflows</i> .....	111
4.2.7.	<i>Módulo componente da camada de execução de regras de conhecimento</i> .....	114
4.2.8.	<i>Módulo componente da camada de execução de modelos</i> .....	114
4.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
<b>5.</b>	<b>PROJETO DE SOFTWARE E DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO PARA A ARQUITETURA PROPOSTA</b> .....	<b>117</b>
5.1.	TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA DA FERRAMENTA SIAT PARA O MERCOSUL.....	118
5.2.	ESTRATÉGIA DE ABSTRAÇÃO ADOTADA .....	119
5.2.1.	<i>Limitação quanto ao uso do padrão Domain Model</i> .....	125
5.2.2.	<i>Refactoring aplicado aos padrões Specification e DomainObject</i> .....	127
5.2.3.	<i>Uso de Metaclasses</i> .....	130
5.2.4.	<i>Inclusão das especificações no processo de parsing ou Análise Gramatical</i> .....	132
5.3.	USO DE ESTILO ARQUITETURAL COM MODELOS DE OBJETOS ADAPTÁVEIS.....	137
5.3.1.	<i>O padrão TypeObject</i> .....	138
5.3.1.	<i>Uso do Open Modeling Interface na arquitetura proposta</i> .....	142
<b>6.</b>	<b>AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO</b> .....	<b>145</b>
6.1.	MATERIAL E MÉTODOS.....	146
6.2.	DESCRIÇÃO .....	148
6.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	153
<b>7.</b>	<b>AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>154</b>
7.1.	OBTENÇÃO DA TAXA DE AVANÇO NO MONITORAMENTO DA MUDANÇA DE USO E COBERTURA DA TERRA.....	154
7.2.	AVALIAÇÕES QUALITATIVAS QUANTO AO POTENCIAL DE USO DA SOLUÇÃO DESENVOLVIDA .....	162
7.3.	AVALIAÇÕES QUALITATIVAS QUANTO À CONTRIBUIÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO .....	166
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>170</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>175</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>186</b>
	ANEXO A – PADRÕES DE PROJETO .....	187
	ANEXO B – PROJETO DE ARQUITETURA E ESTILOS ARQUITETURAIS .....	191
	ANEXO C – ESQUEMA DE TABELAS PARA GRAVAÇÃO DOS METADADOS DO <i>WORKFLOW</i> CIENTÍFICO (PROJETO ENVIAR) .....	202
	ANEXO D – <i>SCRIPT</i> SQL DE CRIAÇÃO DAS TABELAS PARA GRAVAÇÃO DOS METADADOS USADOS PELO <i>WORKFLOW</i> CIENTÍFICO (PROJETO ENVIAR).....	203
	ANEXO E – ESQUEMA DE TABELAS PARA GRAVAÇÃO DOS METADADOS DE MODELOS DO SIAT-TTC (SENSOR).....	213
	ANEXO F – <i>SCRIPT</i> SQL DAS TABELAS COM OS METADADOS DOS MODELOS SIAT-TTC (SENSOR) .....	214
	ANEXO G – MATRIZES DE CONFUSÃO.....	231
	ANEXO H – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS DAS CLASSES AGRICULTURA, CERRADO, PASTAGEM E ÁREA URBANA EM PIXELS, METROS QUADRADOS E PERCENTUAL.....	234

# 1. Introdução

## 1.1. Motivação

A comunidade científica ligada à área agrônômica tem focado seus estudos principalmente na identificação de potencialidades das terras, vulnerabilidades, seleção de indicadores de sustentabilidade ambiental, social e econômica de uma região e impactos decorrentes da expansão agrícola. O monitoramento, a avaliação e o tratamento de variáveis ambientais necessitam de tecnologias com suporte técnico e científico para armazenar, processar e analisar um grande volume de dados. Modelos matemáticos e sistemas computacionais auxiliam na identificação e simulação de padrões de respostas que descrevem processos, muito próximos da realidade.

O aumento expressivo na quantidade de dados coletados e que precisam de validação e interpretação, bem como os fenômenos envolvidos nessas etapas, possui crescimento proporcional à velocidade da evolução da ciência, onde uma série de tarefas encadeadas é realizada manualmente por pesquisadores, o que aumenta cada vez mais a dependência da dinâmica proporcionada pela tecnologia conhecida por *workflow* no contexto da *GIScience*<sup>1</sup>, auxiliando os pesquisadores a automatizar seus processos de criação e modelagem e suprir as necessidades fundamentais de monitoramento, construção da representação do problema, bem como a caracterização das soluções cabíveis e compartilhamento dos resultados obtidos a fim de que seus monitoramentos ocorram em um ambiente mais controlado.

Após a calibração e validação os modelos podem ser utilizados por outros especialistas, permitindo a avaliação da acurácia e a transferência de tecnologia. Monitoramentos bem conduzidos a campo e por sensores remotos, equipes focadas em objetivos semelhantes, algoritmos e sistemas inteligentes podem aumentar a

---

<sup>1</sup> A Ciência da Informação Geográfica (*GISc* ou *GISci* ou *GIScience*) é a teoria por trás do desenvolvimento acadêmico, o uso e a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS). Ela está preocupada com as pessoas, hardware, software e dados geoespaciais. A *GIScience* aborda questões fundamentais suscitadas pelo uso de GIS e tecnologias da informação relacionadas. (GOODCHILD, 1997)

rastreabilidade de determinado processo. Soluções computacionais focadas na identificação de processos na agricultura, apoiadas em *workflows* científicos, apresentam-se como alternativas para auxiliar nos estudos dinâmicos de avaliações econômicas, ambientais e sociais pela expansão da fronteira agrícola no Brasil.

Em um mundo globalizado existe uma necessidade freqüente em representar, projetar, reutilizar, registrar e compartilhar dados e informações que traduzam o comprometimento com a sustentabilidade das ações humanas em uma determinada área de interesse. Com o advento de uma nova forma de concepção de aplicativos distribuídos em meio à *internet*, conhecida como paradigma Web 2.0, torna-se possível alcançar maior facilidade na transferência e propagação dos resultados e seus estados representacionais, através das características que descrevem os modelos matemáticos estabelecidos ou utilizados em projetos de pesquisa de cunho sócio-econômico-ambiental.

A colaboração é uma característica presente no chamado paradigma Web 2.0, onde a importância da participação da figura do usuário é aumentada com o intuito de que sua manifestação tenha característica mais ativa e decisiva no processo de construção do conhecimento. Pesquisadores especialistas em modelagem matemática são usuários em potencial de uma abordagem colaborativa da construção do conhecimento que viabilize e estimule a troca de experiências visando alcançar maior precisão dos resultados obtidos através de uma ferramenta que ofereça a possibilidade de se “calibrar” a percepção virtual dos participantes.

Com o intuito de se obter um aumento da capacidade de rastreabilidade dos processos de monitoramento da execução dos *workflows* científicos, torna-se necessário o registro da proveniência dos dados gerados, essencial para a confiabilidade do estudo e análise de cada monitoramento. Os dados devem ser armazenados, como aqueles utilizados na definição do *workflow*, onde preocupações básicas abordadas por cientistas e coordenadores *GIScience* são passíveis de registro, como quem criou os artefatos, quem os modificou, o processo que deu origem a um artefato e subartefatos derivados de outro(s) artefato(s).

Soluções que envolvam o gerenciamento de *workflows* para manipulação das cadeias de monitoramento da mudança do uso e da cobertura da terra podem auxiliar na automação do tratamento de imagens de satélite. As análises de

evidências que envolvem o uso de regras de conhecimento para inferência de cenários futuros é uma forte demanda científica, principalmente devido às mudanças da matriz energética atraindo novas frentes de cultivos de cana-de-açúcar e oleaginosas no país.

## 1.2. Objetivos

Os efeitos decorrentes de políticas públicas podem ser expressos através de indicadores de sustentabilidade (econômicos, sociais e ambientais), os quais podem ser monitorados e simulados visando sinalizar determinados processos de alterações no futuro. Dentro desse contexto, procurou-se testar as seguintes hipóteses:

- A cadeia desenvolvida por JONATHAN (2005) para identificar mudanças no uso e cobertura do solo de forma automática, usando dados de sensoriamento remoto provenientes do satélite AQUA<sup>2</sup>, sensor MODIS<sup>3</sup>, pode ser popularizada e facilmente utilizada em solução *workflow*;
- O uso de interfaces padronizadas para acesso aos recursos científicos pela web, descritos por metadados e usados desde a execução dos *workflows*, pode permitir uma melhor escalabilidade e compartilhamento dos recursos, promovendo maior integração entre os especialistas.

Como objetivos gerais desta tese, podemos mencionar a concepção de uma abordagem que visa à criação de *workflows* e modelos científicos, apóia a sua execução e auxilia na tomada de decisão, visando conectar todos os dados relacionados e envolvidos nas diferentes etapas do processo, bem como suas proveniências. Esta abordagem permite a criação e reuso de conhecimento (sob a forma de *workflows* e modelos), bem como a colaboração, tendo em vista que

---

<sup>2</sup> AQUA (EOS PM-1) é uma pesquisa multinacional de satélites em órbita da Terra, projetada pela NASA e lançado em 4 de Maio de 2002, com o objetivo de analisar a precipitação, evaporação e o ciclo da água. É o segundo componente principal Sistema de Observação da Terra (EOS) logo após o Satélite TERRA (lançado em 1999) e seguido pelo AURA (lançado em 2004).

<sup>3</sup> MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um instrumento para estudos da superfície e atmosfera terrestre e mede propriedades das nuvens e fluxos de energia radioativa, além de propriedades das partículas do aerossol; mede áreas cobertas e áreas usadas, incêndios e vulcões. O instrumento também se encontra a bordo do satélite TERRA.

pesquisadores podem utilizar soluções passadas, reutilizá-las, entrar em contato com seus autores e até mesmo aprimorá-las.

Neste sentido, objetivou-se com esta pesquisa desenvolver soluções computacionais para apoiar os especialistas nas avaliações da expansão agrícola no Brasil, focando-se em três objetivos específicos:

- Atualização e ajustes no classificador automático de imagens MODIS;
- Construção de *workflows* para manipulação das cadeias de monitoramento da mudança do uso e da cobertura da terra no auxílio da automação do tratamento de imagens MODIS; e
- Avaliação da transferência de tecnologia (*transferability*) de um Sistema de Avaliação de Impacto pela mudança de uso da terra.

Para alcançar o objetivo exposto, foi proposta uma arquitetura para execução de *workflows* científicos, com suporte à gerência de proveniência dos dados, integrada com o gerenciamento de modelos matemáticos envolvidos na dinâmica de avaliação e tratamento de variáveis ambientais. A arquitetura busca auxiliar os pesquisadores envolvidos nas etapas de monitoramento da mudança do uso e da cobertura da terra na definição, execução e análise de seus monitoramentos com o uso de Sistema Gerenciador de *Workflows*, propagando os resultados obtidos para um Sistema Gerenciador de Modelos viabilizando a integração dos dois. A organização dos módulos componentes da arquitetura foi estabelecida no intuito de obter elevados graus de escalabilidade, reusabilidade e interoperabilidade, além da facilidade em transferência futura da tecnologia e de conceitos envolvidos (*transferability*).

Na busca pelo melhor entendimento dos processos que permitam análises integradas contemplando variáveis ambientais, sociais e econômicas para apontar indicadores de sustentabilidade em uma determinada área de interesse, contemplou-se o estudo de caso voltado para os problemas na Bacia do Alto Taquari (BAT), onde o processo erosivo tem comprometido muitas áreas agricultáveis e promovido o assoreamento de rios.

### 1.3. Projetos Relacionados

Esta dissertação está inserida no contexto de uma série de projetos de pesquisa apoiados por instituições de ensino e pesquisa no Brasil e no Exterior, através dos quais as etapas identificadas para definição de *workflows* e calibração de modelos matemáticos, além de indicadores de sustentabilidade de uso do solo, foram trabalhos dentro do contexto da *GIScience*:

- a) *Land use change in the Rio de la Plata Basin: Linking biophysical and human factors to predict trends, assess impacts, and support viable strategies for the future* (<http://platabasin.unsl.edu.ar>). Este projeto é auspiciado pela *Inter-American Institute for Global Change Research, AIA* (<http://www.iai.int/>). Este projeto visa estudar a problemática das mudanças do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio de La Plata. O projeto é desenvolvido por pesquisadores brasileiros em conjunto com parceiros da Argentina, Uruguai e Paraguai.
- b) *Land Use Change in The Rio de la Plata Basin: Assess Impacts, and support viable strategies for the future - IAI (InterAmerican Institute for Global Environmental Research)*
- c) *Landuse change, biofuels and rural development in the La Plata Basin - IDRC/Canada*
- d) Tecnologias avançadas em processamento digital de imagens para o monitoramento automatizado do desflorestamento, degradação da terra e da expansão do sistema plantio direto através da classificação sistemática do uso e da cobertura do solo, ENVIAR<sup>4</sup>.
- e) *SENSOR (Sustainability Impact Assessment: Tools for Environmental Social and Economic Effects of Multifunctional Land Use in European Regions)* e *(Sustainability Impact Assessment: Tools for Environmental Social and Economic Effects of Multifunctional Land Use in MERCOSUR Regions)*, com a parceria entre o Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS –

---

<sup>4</sup> Cooperação Internacional CNPQ/INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique), processo n°490089/2005-4

EMBRAPA, instituição de pesquisa nacional, e parceiros internacionais no projeto SENSOR.

Esta abordagem foi avaliada através de dois estudos de casos, os quais visavam: i) avaliar a aplicabilidade, relevância e aceitação deste trabalho no cenário de agronomia e ii) avaliar a contribuição no cenário de *workflows* científicos frente à expectativa futura de crescimento, fortemente ligada à idéia de escalabilidade em sistemas distribuídos.

#### **1.4. Organização da Dissertação**

Seguindo o escopo de projetos de pesquisa da Embrapa Solos, as soluções foram realizadas de forma colaborativa consubstanciadas pela multidisciplinaridade dos especialistas envolvidos. Este trabalho de dissertação reflete o potencial de integração de pesquisadores da área agrônômica, geoprocessamento e tecnologia da informação, reforçando a importância da visão sistêmica na construção do conhecimento científico.

Para uma melhor compreensão, os capítulos que compõem esta dissertação estão organizados da seguinte maneira: o capítulo dois apresenta uma revisão aos conceitos relacionados à gerência do conhecimento, ao sensoriamento remoto, cadeias de processamento, as séries temporais MODIS e o geoprocessamento, bem como a definição de *workflows*, sistemas de gerência de *workflows* científicos, arquiteturas de modelos de objetos adaptáveis e para transferência do estado representacional dos dados envolvidos. Por último, são apresentados e analisados alguns trabalhos correlatos na área. No capítulo três são inseridos os conceitos envolvidos no processo de monitoramento da mudança de uso e cobertura do solo e avaliação da expansão agrícola com etapas voltadas para os trabalhos em *GIScience*. O capítulo quatro descreve uma arquitetura para apoiar avaliações de impactos de mudança de uso e cobertura do solo, suas camadas e seus componentes, distribuída através de dois subsistemas, um *sistema gerenciador de workflows* e outro *sistema gerenciador de modelos*. O capítulo cinco apresenta aspectos de programação que foram realizados para estruturar a arquitetura

proposta neste trabalho. O capítulo seis descreve material e métodos utilizados nesta pesquisa, com a contextualização do estudo de caso da EMBRAPA. No capítulo sete discussões e avaliações sobre os resultados são apresentadas. Por último, o capítulo oito apresenta as conclusões desta dissertação, analisando as contribuições que foram obtidas e algumas dificuldades encontradas além de possíveis trabalhos futuros.

## 2. Referencial Teórico

Para consubstanciar a proposta, procurou-se sintetizar neste capítulo os principais estudos que fundamentaram a realização deste trabalho. Primeiramente fez-se uma revisão do processo de monitoramento com base nos dados de sensoriamento remoto, focando-se nas Séries Temporais do MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) além do apoio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que permitem processamentos para integração de variáveis, utilizando-se técnicas de geoprocessamento.

Em seguida são inseridos também os conceitos sobre Gerência do Conhecimento e Modelos de Programação Linear Recursiva visando integrar conhecimentos da área de tecnologia da informação (TI) em avaliações ambientais, foco principal das soluções propostas nesta pesquisa.

Neste sentido, os Modelos de Programação Linear Recursiva são citados como o conjunto de estruturas capazes de representar os componentes conceituais que viabilizam simulações ambientais, num contexto de compartilhamento de regras de conhecimento. Este conjunto de estruturas tem por objetivo permitir que as regras de conhecimento sejam aplicadas em estudos de avaliação das mudanças de uso e cobertura do solo. No âmbito do Projeto Sensor, focou-se nas avaliações da mudança de uso e cobertura da terra, em função de políticas públicas decorrentes da mudança da matriz energética no Brasil.

Assim, os pesquisadores selecionaram como área sensível as pressões do avanço das áreas com cana-de-açúcar a Bacia do Alto Taquari. A revisão das regras e a calibração dos modelos de avaliação de uso e cobertura do solo foram focadas na política de produção do etanol de cana-de-açúcar, diante das forças motrizes (*driving forces*<sup>5</sup>), discutidas por MARTORANO et al, (2009). Os estudos apontam que a o aumento demográfico, o Produto Interno Bruto (PIB), o preço do petróleo no mercado mundial e os prognósticos de mudanças climáticas foram fundamentais na mudança da matriz energética do país.

---

<sup>5</sup> *DRIVEN FORCE* é um termo utilizado dentro do contexto do desenvolvimento da ferramenta de avaliação do impacto à sustentabilidade, SIAT (*Sustainability Impact Assessment Tool*), projeto SENSOR.

Sob a ótica da área de tecnologia da informação, buscando-se o gerenciamento, a reimplantação e a reprodutibilidade das novas regras de conhecimento obtidas na pesquisa, são explicitados alguns tópicos em engenharia de software. Usou-se técnicas de projeto e programação orientados a objetos, padrões de projeto GOF, padrões de projeto JEE, modelos arquiteturais SOA (*Service Oriented Architecture*), ROA (*Resource Oriented Architecture*), AOM (*Adaptive Object Model*), RESTful *Web Services* para viabilizar a construção da solução proposta neste trabalho.

A Gestão do Conhecimento adotada neste estudo visa estabelecer a co-participação entre especialistas para obter soluções capazes de monitorar mudanças ambientais e integrar os conhecimentos em uma ferramenta que possa expressar os impactos decorrentes dessas mudanças. A integração entre profissionais de diferentes áreas do conhecimento oportuniza avanços científicos através de trocas nas rodadas presenciais com especialistas. Ao final, apresenta-se uma síntese sobre ferramentas inteligentes (*softwares*) focados no aumento da capacidade de obtenção e processamento de informações, mas sempre buscando apoiar os estudos ligados à expansão da fronteira agrícola no país.

Por este trabalho se tratar de pesquisa para o desenvolvimento de soluções computacionais para apoiar os especialistas nas avaliações da expansão agrícola no país frente aos impactos ambientais decorrentes, pode-se dizer que está inserido no âmbito do Planejamento e Gestão Ambiental, pois auxilia a tomada de decisão de gestores interessados na obtenção de dados capazes de modificar o curso do desenvolvimento sócio-econômico de uma determinada região, com é o caso da Bacia do Alto Taquari (MS), foco deste trabalho. A seguir, serão apresentados alguns conceitos básicos da área, tais como planejamento ambiental, gestão ambiental, desenvolvimento sustentável e limiares de sustentabilidade.

## 2.1. Planejamento e Gestão Ambiental

O termo *gestão ambiental* é amplo e possui muitas definições que envolvem conceitos como gestão ambiental de bacias hidrográficas, gestão ambiental de parques e reservas florestais, gestão ambiental de reservas de biosfera dentre outros (AMBIENTE BRASIL, 2009). Trata-se de um processo voltado a resolver, mitigar e/ou prevenir os problemas de caráter ambiental, com o objetivo de desenvolvimento sustentável (UNIVERSO AMBIENTAL, 2009).

Cabe aqui a necessidade de se distinguir os termos Planejamento e Gestão Ambiental. Segundo XAVIER DA SILVA (2007), *Planejamento Ambiental* é um processo no qual são executados levantamento e diagnóstico das condições ambientais, com o objetivo de aperfeiçoar o uso dos recursos ambientais disponíveis, o que tende à exploração pouco ordenada ou, inversamente, orienta-se na direção da utilização racional e não predatória, seguindo planos de ação<sup>6</sup>. Sendo assim, o Planejamento Ambiental se restringe aos aspectos julgadores e executores, onde o primeiro se manifesta *em função* dos planos de ação e o segundo funciona a *partir de* planos de ação. Neste momento, planos de ação são apenas postos em prática e não são modificados (Figura 1).

A verdadeira Gestão Ambiental não deve ser confundida com a mera capacidade de constantemente alterar planos de ação preexistentes. Segundo XAVIER DA SILVA (2007), gerir um ambiente “racionalmente” ou “metodicamente” significa *acompanhar a evolução dos fenômenos de interesse*, comparando as situações encontradas no presente com as que foram previstas no plano de ação e, principalmente promover a intervenção, quando realmente necessária, segundo informação relevante e baseada em novos dados, mediante o consentimento da autoridade competente (XAVIER DA SILVA, 2007). Nota-se aqui, a manifestação de caráter legislador, apresentada na arquitetura de exemplo da

Figura 2, que torna possível a modificação dos planos de ação em função da resposta ambiental e vice-versa, com a mudança do uso do meio ambiente em função de reformulações necessárias aos planos de ação.

---

<sup>6</sup> O processo de Planejamento Ambiental geralmente origina documentos – planos de ação – nos quais são apresentados resultados dos levantamentos e os diagnósticos, e feitas prognoses e recomendações quanto ao uso atual e futuro dos recursos ambientais (XAVIER DA SILVA, 2007).

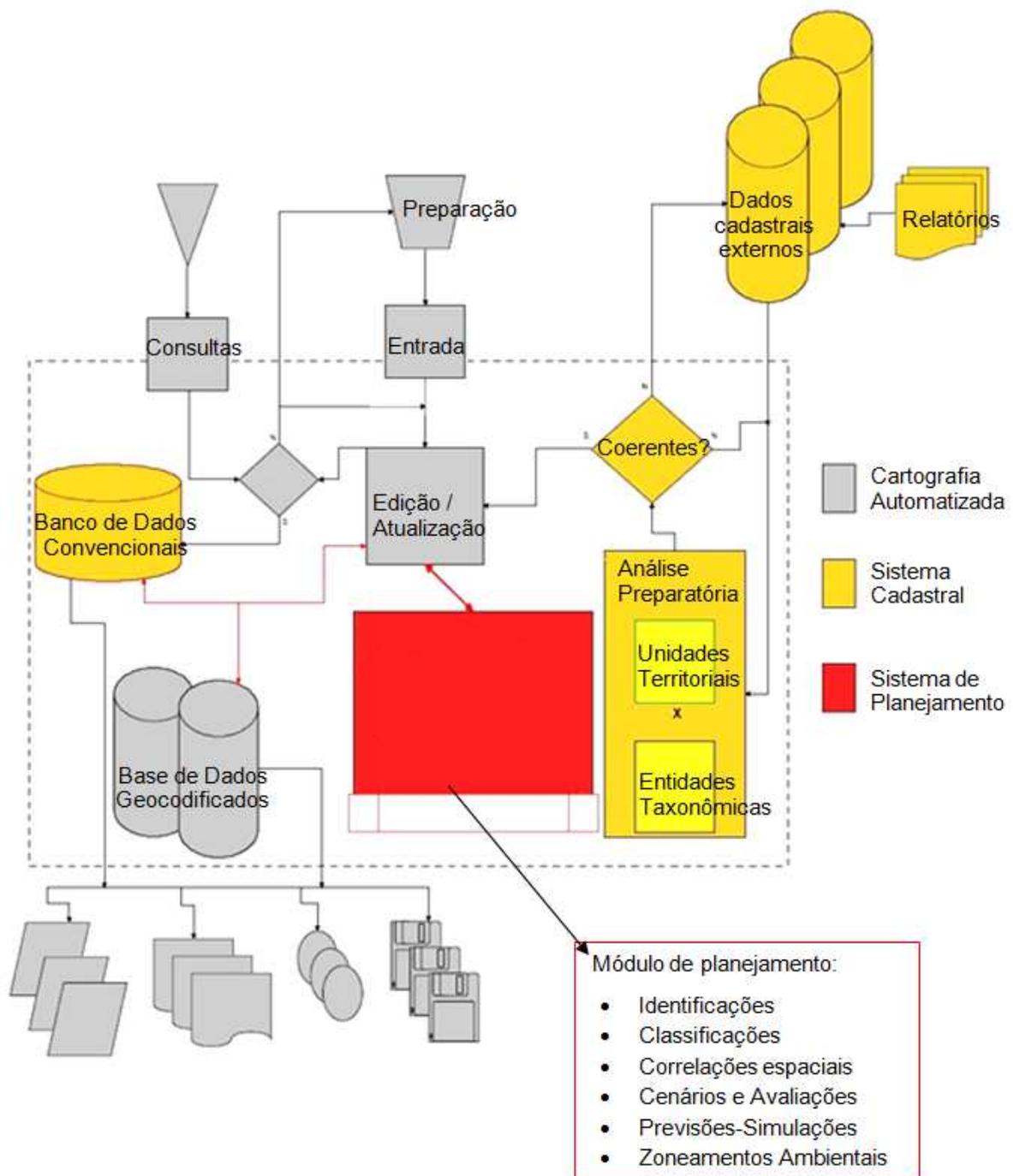


Figura 1 – Sistema de Planejamento, Estrutura Básica.  
Adaptado de XAVIER DA SILVA, 2007.

Um exemplo prático disso está presente no processo de Zoneamento Ecológico-Econômico do Mato Grosso do Sul (ZEE-MS, 2009). O projeto passou a permitir o plantio de cana na região do Alto Taquari, que integra a Bacia do Alto Paraguai e cujos rios banham o Pantanal. Apesar de aprovação obtida pelo poder Executivo do estado do Mato Grosso do Sul no final de 2009, o Governo Federal

apresentou outro projeto que vetava o plantio em toda a região do Pantanal para blindar essas áreas, decretando que financiamentos aos projetos sucroalcooleiros só seriam liberados quando as delimitações ao Pantanal fossem respeitadas (ARAKAKI, 2009).

Entre os conceitos envolvidos com o uso de Sistemas de *Gestão Ambiental* encontra-se o *desenvolvimento sustentável*, cuja definição está na satisfação das exigências do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem as suas necessidades (EXTENSITY PROJECT, 2009). Insere-se neste contexto a agricultura sustentável como a agricultura que não só promove a conservação dos recursos naturais (solo, água e biodiversidade) como também é economicamente viável ao promover a equidade social (EXTENSITY PROJECT, 2009). Em concordância com o tema, indicadores para o estabelecimento de *limites de sustentabilidade* são propostos com o intuito de promover a identificação de áreas afetadas com maior ou menor *sensibilidade* no que diz respeito ao avanço da agricultura.

Como exemplo, deve ser citado o estudo de TEXEIRA (2009), que trabalhou sobre um índice com potencial para diagnosticar a tolerância do meio ambiente frente ao avanço da agricultura sobre os remanescentes de vegetação natural para o município de Rio verde, Goiás. Nesse sentido, TEIXEIRA (2009) buscou identificar áreas ambientalmente frágeis através da associação de indicadores de uso e cobertura do solo, indicadores agroclimáticos e ecológicos, ao estabelecer um índice de fragilidade por média ponderada desses indicadores.

Outro exemplo de estudo voltado para a preocupação do impacto à sustentabilidade ambiental é apresentado por LISBOA (2008) que expõe o processo erosivo como o problema ambiental de maior expressão na Bacia do Alto Taquari, Mato Grosso do Sul. Assim sendo, LISBOA (2008) procurou analisar as principais condicionantes topoclimáticas que pudessem apontar efeitos de pressões de uso com cana-de-açúcar no entorno da Bacia do Alto Taquari, gerando sérias conseqüências à região.

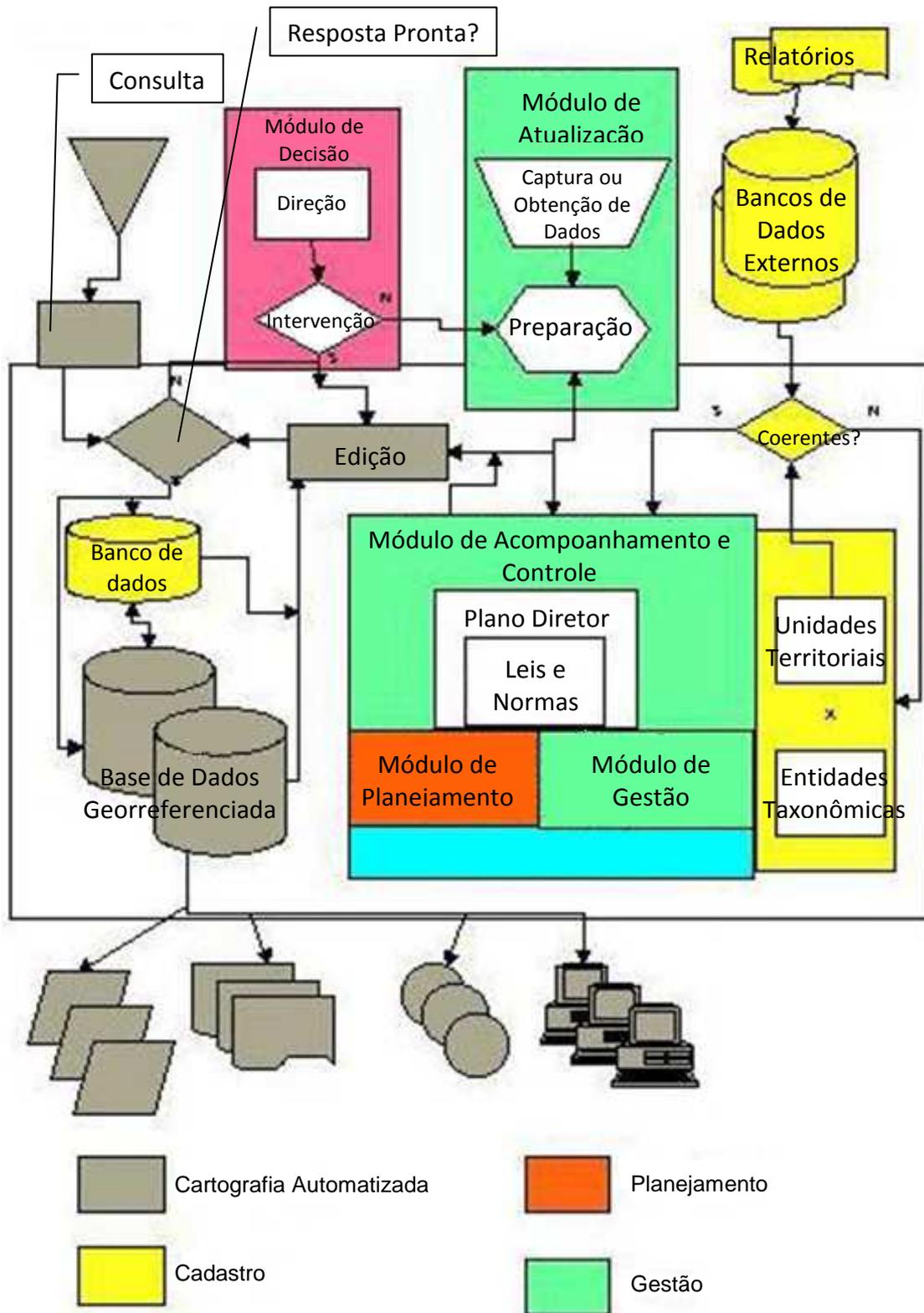


Figura 2 - Sistema de Gestão  
Adaptado de: XAVIER DA SILVA, 2007.

LISBOA (2009) buscou a simulação de cenários topoclimáticos na Bacia do Alto Taquari, fundamentada em freqüentes ameaças de flexibilização nas leis

ambientais no estado de Mato Grosso do Sul. Seu trabalho foi viabilizado com o apoio de sistemas de informação geográfica (SIG) e de modelos de simulação da dinâmica de variáveis espaço-temporais através do ambiente de modelagem e simulação TerraME (CARNEIRO, 2006).

## 2.2. Geoprocessamento

Com o apoio de técnicas de geoprocessamento os dados podem ser identificados, isolando-se cada alvo através de suas assinaturas espectrais, visando extrair informações dos fenômenos que nele ocorrem (Xavier da Silva, 2007). Tornam-se disponíveis também para as análises ambientais os procedimentos que permitem a investigação detalhada de *relacionamentos entre entidades pertencentes a um ambiente*.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG`s) são ferramentas que auxiliam no processo de tratamento dos dados, permitindo a integração de variáveis por planos de informações (PIs). Os objetos manipulados assumem o formato de feições geográficas associando-se registros e atributos que compõe o banco de dados no SIG. De acordo com BOHAN-CARTER (1996), SIG é um sistema computacional com o qual a informação pode ser capturada, armazenada e analisada, combinando dados espaciais de diversas fontes em uma base unificada, empregando estruturas digitais variadas, representando fenômenos espaciais também variados, através de uma série de planos de informação (PI.) que expressam as condições na área de interesse. A Figura 3 apresenta uma lista de variáveis que podem compor matrizes de integração, ao usar ferramentas como o TerraView, um aplicativo geográfico onde os dados são manipulados e visualizados e que usa a biblioteca TerraLib<sup>7</sup>, disponível para Linux e Windows (LISBOA, 2008).

---

<sup>7</sup> TerraLib é uma biblioteca de classes desenvolvidas em C++ para a construção de aplicativos geográficos, baseados na arquitetura integrada com código fonte aberto e distribuída como um software livre. Destina-se a servir como base para o desenvolvimento cooperativo na comunidade de usuários ou desenvolvedores de SIG's (VINHAS; FERREIRA, 2005), ou seja, oferece gerenciamento de dados espacial GIS e serviços de análise e funções adicionais para o uso de dados temporais.

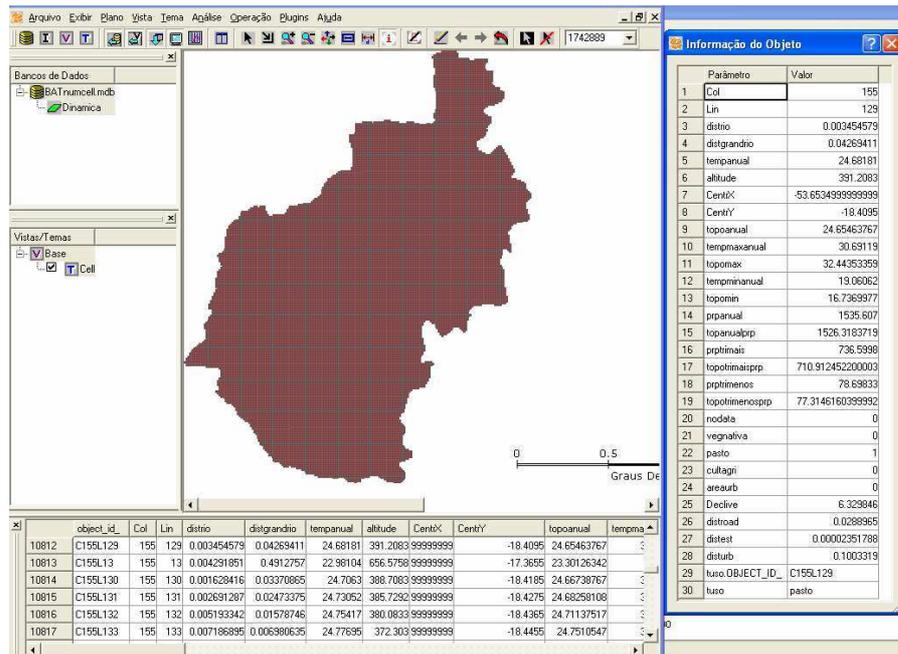


Figura 3 - Representação do Banco de dados da Bacia do Alto Taquari (BAT) programa TerraView.  
Fonte: LISBOA, 2008.

Nesta pesquisa a área de interesse é o estado do Mato Grosso do Sul, onde áreas sensíveis como na Bacia do Alto Taquari (BAT) podem causar sérios danos ambientais (Figura 4) e ameaçar a sustentabilidade agrícola na região.



Figura 4 - Diferentes feições na Bacia do Alto Taquari (BAT), registradas pelo Projeto SOS Taquari - Embrapa Solos.  
Fonte: MARTORANO et al, 2009.

### 2.2.1. Estudos voltados para a região da Bacia do Alto Taquari

A BAT (Bacia do Alto Taquari) está localizada na região Centro-Oeste do Brasil entre os estados de Mato Grosso do Sul (MS) (86,5%) e do Mato Grosso (MT) (13,5%) (VALENCIA, 2008). A Figura 5 apresenta a localização, limites e os municípios pertencentes à BAT, que juntos correspondem a uma região com uma área de 28.046 km<sup>2</sup> de planalto e com altitude variando entre 200m a 900m, segundo SILVA (2003).

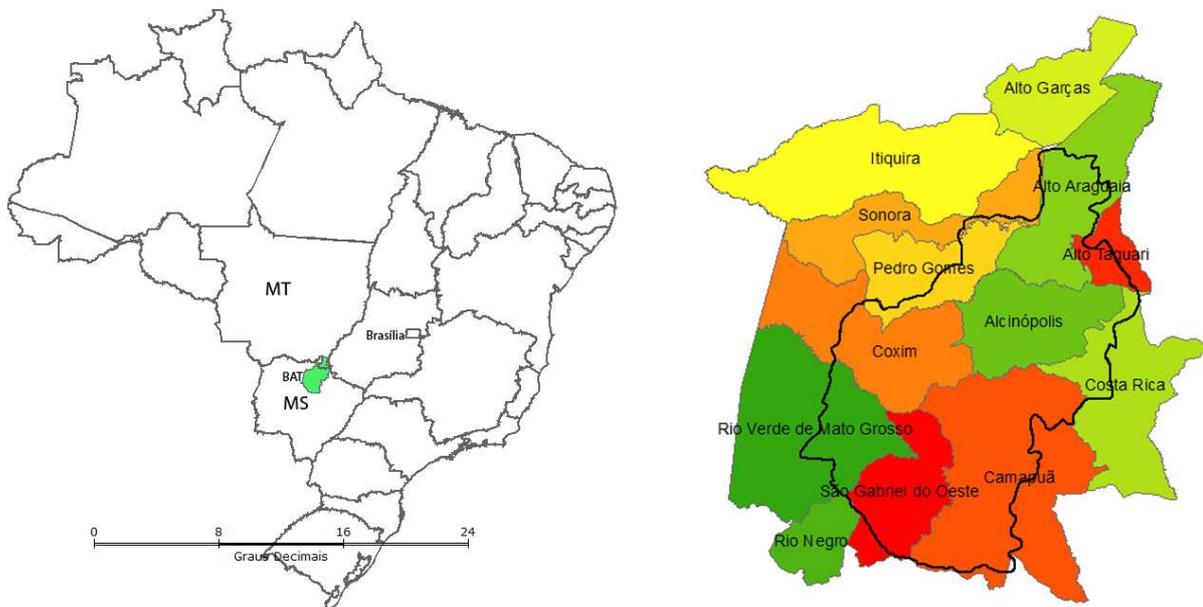


Figura 5 - Localização da Bacia do Alto Taquari (BAT), MS.

Fonte: VALENCIA, 2008.

As principais atividades humanas da região são agricultura (soja e milho) cobrindo 7% da área total e pecuária (pastagem cultivada) correspondendo a 55% da área total (VALENCIA, 2008). A vegetação nativa (cerrado) corresponde a 38% da área (SILVA, 2003). Os incentivos fiscais do governo redirecionaram a expansão de fronteiras agrícolas e o sistema produtivo nos planaltos da BAP (Bacia do Alto Paraguai), principalmente voltadas para a atividade agropecuária.

O incentivo do governo federal direcionado à mudança da matriz energética do Brasil e através do investimento em determinadas culturas do estado do Mato Grosso do Sul deflagra o avanço da fronteira agrícola (MARTORANO et al., 2009) na região da Bacia do Alto Taquari (BAT) e se manifesta através da proliferação de

novas usinas que entraram em operação, principalmente na região centro-sul do país. Das 10 novas unidades, três estão em Minas Gerais, duas em São Paulo, duas em Goiás e as demais nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro (CONAB, 2010).

A área ocupada pela cana no País e destinada ao setor sucroalcooleiro chega a 8,1 milhões de hectares, ou 9,2% a mais que a área da safra anterior (CONAB, 2010). Estes fatores elevaram a previsão de produção total de cana-de-açúcar a ser moída em 2010, pela indústria sucroalcooleira, aos patamares de 664,33 milhões de toneladas, consolidando mais um recorde nacional, segundo o primeiro levantamento da safra (CONAB, 2010).

A preocupação pelo desenvolvimento da região do Alto Taquari não é recente, haja vista a ocorrência de publicações e pesquisas já no final da década de 80 e início da década de 90 (1988 – 1996) para avaliar o grau de utilização de pesticidas na agropecuária dos municípios da Bacia do Alto Taquari (EMBRAPA /CPAP, 2002), bem como os possíveis riscos de contaminação do Pantanal. Seus resultados revelaram que o município de São Gabriel D'Oeste foi o que apresentou a maior área cultivada da região, sendo a soja a cultura de maior expressão na utilização de pesticidas, naquela ocasião (EMBRAPA /CPAP, 2002).

A recente história socioeconômica da região da BAT, porém, aponta o processo erosivo e da contaminação de sedimentos como os principais fatores de degradação naquela região, desde o início dessa década (MARTORANO et al, 2002). A região tem sido alvo de estudo de vários projetos, aonde problemas ambientais vêm sendo causados em função de assoreamento, que mesmo se tratando de um fenômeno natural, a deposição de sedimento pelo rio Taquari na sua planície de inundação tem se intensificado devido à *expansão desordenada* da atividade agropecuária (GALDINO et al., 2003).

Estudos foram realizados e índices de desempenho ambiental serviram como indicadores quantificáveis, ou variáveis de decisão (GETIRANA, 2005), para a avaliação e o controle de impactos ambientais e socioeconômicos da Bacia do Alto Paraguai, causados por atividades agrícolas na BAT. Estes indicadores possibilitaram a identificação de áreas preferenciais da bacia para o

desenvolvimento de ações mitigadoras para o problema da erosão e avaliação da conservação do solo em microbacias.

MARTORANO et al (2009) avaliaram a distribuição espacial do fator de erosividade da chuva, focalizando os estudos na BAT, além da avaliação do impacto dos cenários de mudança climática sobre este índice, que pode ser usado para identificar os limiares de sustentabilidade. Apesar da presença de problemas de degradação ambiental, o plantio da cana-de-açúcar é justificável, pois ao contrário de culturas anuais, como soja e milho, é considerado menos problemático para a Bacia do Alto Paraguai (BAP), já que sua renovação ocorre com uma frequência média de cinco anos, o que permite a conservação do solo (ZEE-MS, 2009).

O geoprocessamento e o sensoriamento remoto constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso da terra ao longo do tempo, onde o primeiro está voltado ao processamento informatizado de dados georreferenciados e o segundo trata da detecção remota, ou teledetecção, para obtenção de informações sobre um objeto, uma área, uma feição ou um fenômeno no planeta Terra, sem que haja contato físico.

Atualmente, essas informações são obtidas através de sensores em satélites que geram imagens. A NASA é uma das maiores captadoras de imagens recebidas por seus satélites. As imagens de satélite, em forma digital ou papel, são muito importantes e úteis, pois permite avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento. Na seção seguinte, são apresentadas com maiores detalhes as noções sobre imagens de satélite e sensoriamento remoto.

### **2.3. Sensoriamento Remoto**

Segundo BARRET & CURTIS (1992) o sensoriamento remoto é a ciência que utiliza observações à distância. Para CURRAN (1995) essa ciência utiliza-se de informações da radiação eletromagnética, registrando imagens do meio físico que possam ser interpretadas, extraíndo-se dados sobre fenômenos ou objetos sem o contato físico, viabilizando estudos em áreas remotas (LILLESAND & KIEFFER, 1994).

O processo de atenuação atmosférica depende do comprimento de onda e do tipo de material, podendo sofrer dois tipos de atenuação, ou seja, o espalhamento que não há transferência de energia e a absorção, onde a transferência de energia é evidenciada. No caso de alvos na superfície da terra que é o interesse desta pesquisa, buscam-se obter respostas dos objetos, decorrentes da reflectância, que depende da composição mineral ou química, tamanho das partículas, células ou dos espaços intercelulares, teor de umidade, rugosidade da superfície e diferentes padrões de monitoramento. Portanto, as técnicas de Geoprocessamento auxiliam a espacialização e manipulação de planos de informações (PIs), manipulados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Nessa ferramenta é possível importar, armazenar, recuperar, transformar e exportar informações espaciais de fundamental importância nos estudos de expansão agrícola e nas avaliações de impactos ambientais pela mudança de uso das terras.

Voltando um pouco no tempo para contextualizar a contribuição dos sensores remotos no monitoramento, os dados da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) apontam que o primeiro satélite (Earth Resources Technology Satellite -ERTS-1) forneceu informações ultispectrais os quais auxiliaram no melhor conhecimento dos cultivos agrícolas, corpos d'água, reservas minerais, tipos de solos, expansão de áreas urbanas, avanços de áreas desmatadas, entre outras feições e processos terrestres<sup>8</sup>. Esse satélite passou a ser denominado de LANDSAT e encontra-se em operação desde a década de 1970 (século XX). Vários estudos têm sido realizados utilizando dados de satélites e apoiado na identificação de áreas com vegetação natural convertidas ao uso agrícola, nos últimos anos. Portanto, com base nos dados de sensores remotos é possível mudanças e auxiliar no planejamento de uso e esforços de mitigação dos impactos decorrentes de usos que não sigam a vocação das terras. Nos últimos 20 anos os satélites vêm evoluindo para melhorar o monitoramento de processos na superfície terrestre<sup>9</sup>.

A resolução espacial representa a capacidade de monitorar um objeto em uma determinada escala no espaço, ou seja, uma resolução espacial de 1m permite que os menores elementos visualizados sejam de 1m de dimensão, os objetos

---

<sup>8</sup> <http://www.nasa.gov/home/index.html>

<sup>9</sup> <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

menores não serão identificados, determinando assim as possíveis aplicações em que uma imagem poderá ser usada, de acordo com o interesse da pesquisa. Ressalta-se que as resoluções espaciais e temporais refletem o grau de detalhamento que um determinado estudo pode fornecer, ou seja, esses estudos servem como estratégias para planejamento dado sua limitação de especificidade de detalhamento.

As informações sobre as respostas espectrais de alvos monitorados por satélites, disponibilizadas diariamente pelo centro de monitoramento da NASA sobre as condições ambientais e suas inter-relações indicam que os constantes avanços tecnológicos de sensores terrestres e remotos vêm permitindo maiores acertos nos prognósticos de condições ambientais<sup>10</sup>. Em termos de monitoramento remoto os estudos sobre avanços do desmatamento, previsões meteorológicas, focos de queimadas, disponibilizados pelo INPE<sup>11</sup> evidenciam a grande contribuição dos satélites no fornecimento de imagens da superfície terrestre, no menor tempo possível.

Em termos de monitoramento do avanço da fronteira agrícola e condições agrícolas, o satélite AQUA vem ganhando espaço na comunidade científica com os produtos provenientes do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), pois fornece dados espectrais distintos, rastreando um amplo conjunto de sinais na superfície do planeta<sup>12</sup>.

A interferência humana é um condicionante de destaque para questões que envolvem mudanças nas dinâmicas de uso e cobertura do solo, promovendo alterações na paisagem e no espaço geográfico. Tais mudanças podem provocar alterações nos processos de absorção e reflexão dos raios solares, modificando o albedo terrestre, desequilibrando o balanço da energia nas baixas camadas, além de influir na força e na direção dos ventos de superfície, nos valores da umidade relativa, no regime de chuva e na dinâmica de sedimentos na zona costeira, atuando, portanto, diretamente sobre a manutenção e regulação dos ecossistemas e do clima terrestre<sup>13</sup>.

---

<sup>10</sup> <http://www.nasa.gov/>

<sup>11</sup> <http://www.inpe.br/>

<sup>12</sup> <http://modis.gsfc.nasa.gov/>

<sup>13</sup> <http://www.inpe.br/>

Seguindo essa tendência predatória, são registradas inúmeras agressões aos recursos naturais e ecossistemas, ora tensionando, outrora degradando de maneira intensiva, como por exemplo, os problemas na Bacia do Alto Taquari (BAT), onde o processo erosivo tem comprometido muitas áreas agricultáveis e promovido o assoreamento de rios (GALDINO et al., 2006; MARTORANO et al, 2009) . É nesse sentido que estudos sobre as dinâmicas de uso e cobertura do solo se fazem essenciais, pois identificam fatores de risco à manutenção do equilíbrio dinâmico do sistema.

O monitoramento das condições atuais do uso do solo e da cobertura vegetal, a partir de dados sensoriais, em confluência com séries históricas de dados de solo, clima, mudanças de uso da terra, entre outros, permite a visão do processo como um todo, bem como a produção de cenários futuros em função das variáveis atuantes. No caso da BAT os estudos de LISBOA (2008) e VALENCIA (2008) usando modelagem dinâmica apontam que cada vez mais os estudos podem intensificados extraíndo mais informações científicas com o apoio de ferramentas computacionais. A busca é entender melhor os processos que permitam análises integradas contemplando variáveis ambientais, sociais e econômicas para apontar indicadores de sustentabilidade em uma determinada área de interesse.

Dentro do contexto do sensoriamento remoto são trabalhadas seqüências ou séries temporais de imagens cuja “resolução temporal” varia de 1 a 16 dias no caso de produtos MODIS (JUSTICE et al., 2002). Segundo CARVALHO JUNIOR et. al (2008), o arquivo dos produtos referentes aos índices de vegetação compreende um conjunto de variáveis que inclui:

- Valores dos índices de vegetação NDVI e EVI<sup>14</sup> para o período de 16 dias;
- A qualidade (QA) dos índices EVI e NDVI;
- Valores de reflectância referentes à banda do vermelho (banda 1), infravermelho próximo (banda 2), infravermelho médio (banda 6) e azul (banda 3);

---

<sup>14</sup> Os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) são ferramentas de monitoramento importantes para o mapeamento vegetação terrestre, além de auxiliar no planejamento de medidas de proteção. Tratam-se basicamente de medições radiométricas da quantidade, estrutura e condição da vegetação (TEIXEIRA, 2009).

- Além do ângulo de visada, o ângulo zenital solar e o ângulo azimutal solar relativo a cada pixel da composição.

Outras características acerca de séries temporais MODIS serão mais bem explicadas na próxima seção.

### 2.3.1. Séries Temporais MODIS

O *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) corresponde a um sensor que se encontra a bordo de dois satélites diferentes do programa EOS (*Earth Observing System*) da agência espacial norteamericana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*): o satélite Terra, lançado em 1999, e o Aqua, lançado em 2002. Para este estudo, foram adquiridas imagens do produto MOD13 (Índice de Vegetação) originadas do sensor MODIS, a bordo do satélite TERRA.

As imagens utilizadas apresentam resolução espacial de 250 m, estão disponibilizadas em projeção sinoidal contínua, em formato HDF e são distribuídas gratuitamente na internet<sup>15</sup>, através do portal de dados do EOS (*EDG, EOS Data Gateway*), mantido pela agência norte-americana USGS (*United States Geological Survey*), fornecendo informações da temperatura da superfície (solo e oceano), focos de queimadas, cor de oceanos (sedimento, fitoplâncton), tipologias de vegetação, mudanças de uso da terra, tipos de nuvens e aerossóis.

O produto MOD13Q1 toma por base os dados diários de reflectância da superfície, e então os processa de modo a identificar a medição mais representativa e confiável obtida para cada *pixel* durante um período de 16 dias. Para tanto, são consideradas tanto as condições atmosféricas (*i.e.*, presença de nuvens, fumaça, sombras, aerossóis, etc.) quanto à qualidade angular da observação (*i.e.*, ângulos de visada elevados são considerados de baixa qualidade).

Na Figura 6 pode-se observar que existem diferentes tipos de alvos que podem ser mapeados por satélites. Ilustra a capacidade do satélite de obter um grande volume de dados que necessitam de diferentes soluções com alta capacidade de processar e extrair informações.

---

<sup>15</sup> <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>

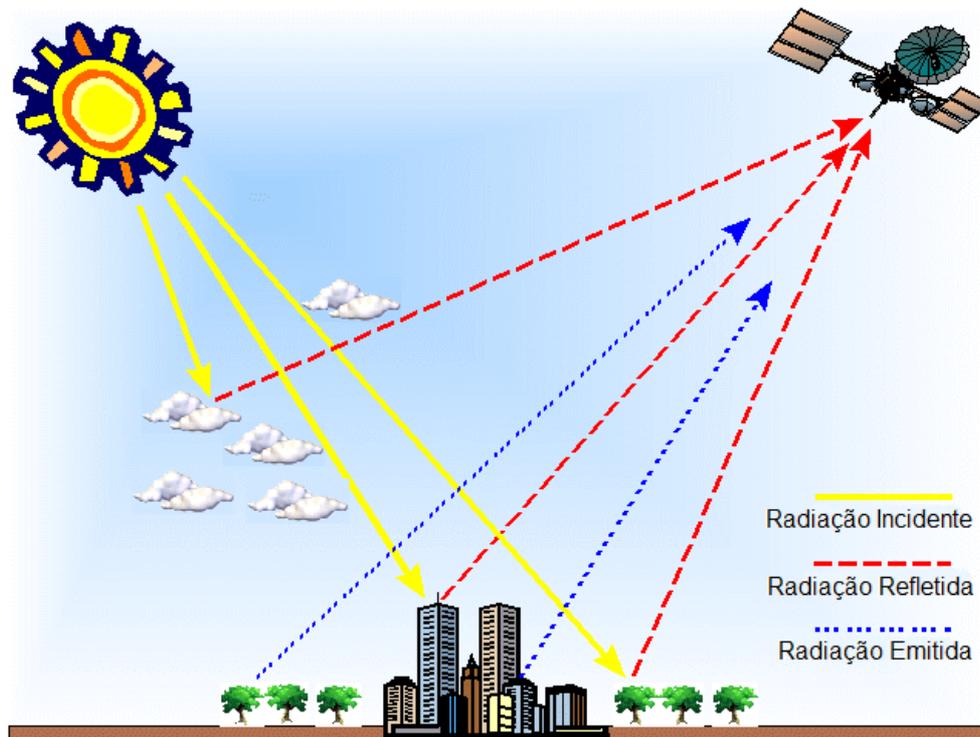


Figura 6 - Interações entre a luz solar, atmosfera e superfície terrestre

Adaptado de: SIAD, 2005

### 2.3.2. Classificação Digital de Imagens

Com o avanço da ciência cada vez mais apoiada no uso da tecnologia torna-se possível o uso de Sistemas de Informação Geográfica com grande potencial de monitoramento de atividades agrícolas relevantes ao estudo de mudança de uso da terra. Imagens de satélite do sensor MODIS para obtenção de estimativas de crescimento de áreas de plantio de algumas culturas como, por exemplo, milho (RIZZO *et. al*, 2009) e cana-de açúcar (AGUIAR *et.al*, 2008).

Diversas técnicas de processamento de imagens de satélite são aplicadas através de produtos de composições temporais de NDVI através do produto MOD13Q1, podendo subsidiar ações de planejamento de uso sustentável das terras. Entretanto, torna-se necessário ressaltar que o monitoramento das modificações de uso e ocupação das terras também deve ser realizado, acompanhado de avaliações técnicas que subsidiem a interpretação da sustentabilidade ambiental,

principalmente em áreas com uso predominantemente agrícola (FERREIRA *et.al*, 2009).

A classificação digital de imagens é um processo que visa à orientação dos dados originais para determinadas classes e que tem como resultado a produção de um *mapa temático* (TEIXEIRA, 2009). Uma vez definidas as classes de interesse, suas características são atribuídas aos *pixels*, revelando sua disposição no sistema, e os transformando em informação, possibilitando dessa maneira a definição de padrões espaciais de distribuição (JONATHAN, 2005).

O processo de classificação está baseado no agrupamento de elementos, a partir de algum critério bem definido. Existem três modalidades de classificação: as supervisionadas, não-supervisionadas e híbridas (QUARTAROLI, 2006).

Segundo CAMPBELL (1996), a classificação supervisionada pode ser informalmente definida como o processo no qual as amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar pixels de identidade desconhecida.

A *classificação não supervisionada* é a opção mais adequada quando a área investigada é desconhecida, ou quando suas características não são bem definidas. Neste método de classificação, os padrões dominantes que ocorrem em uma imagem são extraídos e agrupam-se "naturalmente" definindo as classes existentes no terreno (TEIXEIRA, 2009).

As técnicas de classificação de dados híbridas correspondem à utilização conjunta das duas formas de classificação inicialmente descritas: a supervisionada e a não supervisionada. A classificação híbrida envolve uma etapa não-supervisionada, cujo resultado serve de base para a construção das bibliotecas espectrais, e uma etapa supervisionada, onde as bibliotecas são aplicadas para gerar a classificação final. O trabalho desenvolvido por RODRIGUES et al (2007) utilizando esta técnica de classificação comprovou a grande capacidade do sensor hiperespectral para aplicações em extração automática de informações.

## **2.4. Workflow**

No contexto da tecnologia da informação, um processo pode estar automatizado no todo ou em parte onde documentos, informações e atividades podem ser tratadas manualmente ou não. Neste contexto, a automação do processo que envolve o tratamento destes artefatos recebe o nome de Workflow, com participantes e regras situados fora do escopo da automação.

Uma fase anterior à automação de processos é aquela onde se faz necessária a análise do negócio objetivando sua compreensão e definição conceitual. Sua manifestação se faz presente através da identificação de documentos, informações e tarefas pertencentes ao processo (GOMIDE, 2004).

### **2.4.1. Problemas conceituais com *Workflow***

Os Sistemas de Workflow têm suas origens a partir de pesquisas em automação de escritórios. O principal foco destas pesquisas estava em oferecer soluções sobre como gerar, armazenar, compartilhar e rotear documentos em organizações, visando à diminuição da manipulação de documentos em papel destinando-se, posteriormente, à união das chamadas “ilhas de trabalho e informação” individuais e personalizadas de cada membro (ou pequeno grupo de indivíduos) de uma organização, buscando a integração das ilhas através do roteamento do trabalho entre elas (Casanova & Pereira, 2003).

Ainda segundo Casanova e Pereira (2003)

os conceitos e paradigmas de trabalho em grupo, preconizados pelas pesquisas em CSCW (*Computer Supported Collaborative Work* - Trabalho Colaborativo Suportado por Computador) e groupware (agendamento de conferências, correio eletrônico, vídeo conferência, por exemplo) influenciaram a definição destes sistemas como ferramentas para a coordenação do trabalho de equipes, impulsionando seu desenvolvimento. Além disso, as necessidades de interação intraorganizacionais estenderam-

se para níveis inter-organizacionais (*Business-to-Business* ou B2B), agora contando com o potencial da WWW. Esse fato levou as pesquisas em workflow a um novo patamar voltado para a definição de arquiteturas distribuídas de execução de processos.

Apesar do conceito apresentado acima prevalecer no contexto dos negócios ainda são apresentados problemas conceituais sobre o assunto *workflow*. Segundo GOMIDE (2004), a maior dúvida persiste quando se acredita que reengenharia ou redesenho de processos e *workflow* seja a mesma coisa e isso se deve inicialmente à narrativa utilizada por muitos fornecedores de ferramentas de automação de *workflow* sobre como o seu produto modificou o seu relacionamento com os clientes, fornecedores e outros colaboradores. GOMIDE (2004) ainda salienta que as vantagens alardeadas na melhoria dos negócios são fruto da reengenharia e que independente disso *workflow* é só uma tecnologia de *software* que provê meios para automatizar um processo, agregando as vantagens próprias das soluções de TI.

#### **2.4.2. Workflows e Sistemas Gerenciadores de Workflows**

O WFMC (*WORKFLOW MANAGEMENT COALITION*, 1995) apresenta dois conceitos distintos, porém complementares, conhecidos como *Workflow* e *Workflow Management System*.

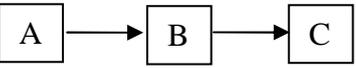
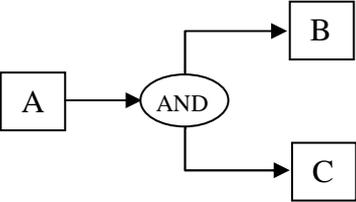
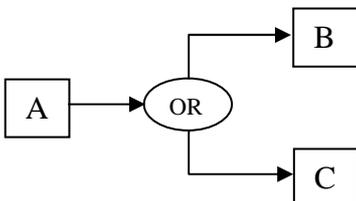
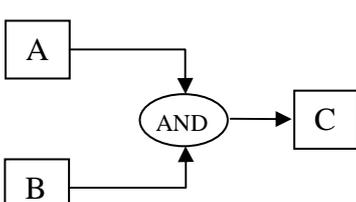
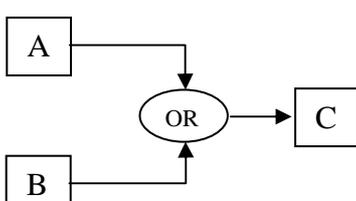
Define-se *Workflow* como a automação total ou parcial de um processo de negócio em que documentos, informações ou tarefas são passadas de um participante para outro de acordo com um conjunto de regras de procedimento.

*Workflow Management System* é um sistema que define, cria e gerencia a execução de *WORKFLOWS* através do uso do software, com funcionamento em um ou mais motores de *workflow*, sendo capaz de interpretar a definição do processo, interagir com os participantes e, quando necessário, invocar o uso de ferramentas de TI e aplicações. A execução dos programas é baseada em uma representação da lógica do workflow no computador.

Os componentes de um *workflow* podem ser modelados de acordo com vários padrões de controle de fluxo com funcionalidades distintas (MEYER, 2006). Padrões básicos listados na Tabela 1 são implementados pela maioria das linguagens para especificação de *workflows*.

Tabela 1 - Padrões básicos para controle de *workflows*.

Fonte: MEYER, 2006.

Padrão de <i>Workflow</i>	Nome	Descrição
	Seqüencial	A execução de uma tarefa só pode acontecer após a execução da tarefa que a precede.
	Divisão paralela	As tarefas B e C têm que ser executadas após o término da tarefa A.
	Escolha exclusiva	A tarefa B ou a tarefa C tem que ser executada após a tarefa A.
	Sincronização	A tarefa C só pode executar quando as tarefas A e B terminarem
	Fusão simples	A tarefa C pode executar se a tarefa A ou a tarefa B terminarem.

### 2.4.3. Diferenças entre *workflows* comerciais e científicos

Segundo MEYER (2006) é possível discernir *workflows* comerciais de *workflows* científicos. MEDEIROS et al. (1995) é citado para caracterizar que um cientista em geral tem conhecimento e auto-suficiência para especificar seu *workflow* diretamente em um ambiente científico. Por outro lado, em um ambiente comercial essa especificação é normalmente realizada por um administrador do sistema.

Outra característica citada por MEDEIROS et al. (1995) em MEYER (2006) é a necessidade de se ter um registro das execuções do *workflow* científico com vistas à re-execução e reprodução de resultados obtidos previamente.

ALTINTAS et al. (2004) aponta outras características inerentes aos *workflows* científicos através do estudo sobre o sistema Kepler, tais como heterogeneidade e distribuição dos dados em grandes volumes, muitas vezes derivados de análises anteriores sobre outro conjunto de dados. Lembra também que, assim como outros sistemas acadêmicos, tais como *DiscoveryNet*, *Taverna* e *Triana*, *Workflows* Científicos são freqüentemente *orientados ao fluxo de dados*.

Predomina atualmente o uso da tecnologia conhecida como *Web Service* que se apresenta como a principal estrutura para a comunicação em sistemas distribuídos pela Web. Os esforços realizados até agora se sintetizam na necessidade de descrever um processo de negócio em um formato padronizado e inteligível tanto por analistas de negócios quanto por sistemas computacionais. Entretanto, o surgimento de diversos padrões diferentes, desenvolvidos por diferentes organizações, tem gerado dúvidas constantes sobre quais padrões adotar, e qual a aplicabilidade e uso de cada um deles (KAMADA, 2006).

A utilização de uma ferramenta de *Workflow* apoiada em uma Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) promove maior facilidade na obtenção de processamentos remotos diante do elevado grau de escalabilidade inerente à arquitetura Web. Porém, apesar desses serviços se integrarem a um fluxo de trabalho local com grande facilidade, podendo ser uma manifestação de outro fluxo de trabalho como um *sub-workflow* do *workflow* em questão, esta escalabilidade é restritiva e destinada à instância do monitoramento realizado no computador pessoal do cientista.

Em outras palavras, as ferramentas de *workflow* científico atuais trabalham com mecanismos voltados apenas para o controle da escalabilidade, mas não trabalham com o compartilhamento dos benefícios obtidos a partir da aplicação desta escalabilidade, onde um cientista ao acoplar novos serviços ao seu monitoramento, existente somente no SGWF do seu computador, não permite que outros cientistas compartilhem da experiência e resultados alcançados neste monitoramento específico.

Observam-se pontos positivos e negativos nos diversos formatos para descrição de *workflows* comerciais dentro da área de gerência de processos de negócio. Podemos citar alguns desses formatos: XPD, UML, BPEL, XLANG, WSFL, BPM, WSCI. Observa-se também que nenhum desses formatos é inteiramente adequado<sup>16</sup> para se descrever, executar e gerenciar cadeias de processamento geomático.

Um exemplo disso é o padrão *Multi Merge* (AALST ET AL., 2003) para utilização em *workflows*. Este padrão visa unir vários caminhos de execução sem sincronismo. Se vários fluxos (convergentes) forem executados, a atividade subsequente será executada várias vezes, sendo uma vez para cada ativação de um fluxo convergente. Isso pode ocorrer quando temos atividades concorrentes que compartilham do mesmo fim. Ao invés de replicar a mesma atividade para cada ramificação utiliza-se o *Multi Merge* (Tabela 2).

Uma aplicação do padrão *Multi Merge* em *workflows* para geoprocessamento se manifesta pela seqüência de tarefas através de um fluxo que inicia com a reprojeção de imagens MODIS de diversos pares de *tiles* adjacentes e termina com a “mosaicagem” desses *tiles* onde uma determinada região de interesse ocorre na área da imagem resultante dessa “mosaicagem”, devido à ocorrência em *tiles* distintos de cada uma das partes pertencentes à mesma região de interesse.

---

<sup>16</sup> Observação fundamentada na análise realizada por Aalst et al. (2003) com base na versão 1.4 da UML e na versão inicial 1.0 da BPMN com a justificativa de que estas versões são adotadas em ferramentas sem custo de aquisição. Mesmo com suas versões mais recentes ainda é evidenciada certa confusão entre o conceito fundamental do *pattern Multi-Merge*, a notação questionável e subjetiva existente nas versões mais recentes da UML 2.0 e da BPMN 1.2, e a efetiva manifestação do *pattern Multi-Merge* através da implementação dos motores das ferramentas que sugerem o uso desses padrões.

Tabela 2 – Padrões Avançados.

Fontes: *Standard Evaluation (WORKFLOW PATTERNS INITIATIVE, 2009)* e  
*Standard Evaluation (AALST, 2007)*

Padrão de <i>Workflow</i>	Linguagem para Descrição de <i>Workflows</i>						
	<i>XPDL</i>	<i>UML</i>	<i>BPEL</i>	<i>XLANG</i>	<i>WSFL</i>	<i>BPM</i>	<i>WSCI</i>
<b>Sequence</b>	+	+	+	+	+	+	+
<b>Parallel Split</b>	+	+	+	+	+	+	+
<b>Synchronization</b>	+	+	+	+	+	+	+
<b>Exclusive Choice</b>	+	+	+	+	+	+	+
<b>Simple Merge</b>	+	+	+	+	+	+	+
<b>Multi Choice</b>	+	-	+	-	+	-	-
<b>Synchronizing Merge</b>	+	-	+	-	+	-	-
<b>Multi Merge</b>	-	-	-	-	-	+/-	+/-
<b>Discriminator</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Arbitrary Cicles</b>	+	-	-	-	-	-	-
<b>Implicit Termination</b>	+	-	+	-	+	+	+
<b>MI without Synchronization</b>	+	-	+	+	+	+	+
<b>MI with a Priori Design Time</b>	+	+	+	+	+	+	+
<b>MI with a Priori Runtime</b>	-	+	-	-	-	-	-
<b>MI without a Priori Runtime</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Deferred Choice</b>	-	+	+	+	-	+	+
<b>Intervealed Parallel Routing</b>	-	-	+/-	-	-	-	-
<b>Milestone</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cancel Activity</b>	-	+	+	+	+	+	+
<b>Cancel Case</b>	-	+	+	+	+	+	+

#### 2.4.4. Aspectos Arquiteturais de *Workflows* Científicos

Nos últimos anos muitas pesquisas voltadas para o uso e disseminação dos *workflows* científicos se concentraram na preocupação sobre sua aplicação e sobre as tecnologias envolvidas no funcionamento das máquinas de *workflow*, tais como processamento distribuído em grades computacionais (MEYER, 2006; BARROS,

2009), objetivando aumentos significativos de desempenho no processamento e redução do tempo para obtenção dos resultados.

Por outro lado, o interesse na revisão sobre a concepção e uso dos serviços *web* em *workflows* está fortemente apoiado na noção de que os padrões de coreografia de serviços *web* parecem ser profundamente influenciados pelos estilos arquiteturais adotados (MUEHLEN, NICKERSON, SWENSON, 2005), os quais certos grupos de profissionais compreendem e com eles preferem trabalhar. Nota-se aqui certa dúvida sobre o que se deseja priorizar, se o gerenciamento de serviços ou o gerenciamento dos recursos, ou ainda os dois. Discussões e questionamentos sobre o uso de formatos para escalabilidade, adaptabilidade (MANOLESCU & JOHNSON, 1999; MATSKANIS, 2006; CARDOSO & FERREIRA, 2007), compartilhamento (DE ROURE, GOBLE, STEVENS, 2009) e colaboração (ROSENBERG et al., 2008) apóiam-se sobre estes aspectos arquiteturais há muito tempo na comunidade de *workflows*.

Muito antes do *World Wide Web Consortium (W3C)* ter usado pela primeira vez o termo “Serviços Web” em 2001, a idéia subjacente de coordenação eletrônica de transações de longa duração conhecida como *business-to-business* já existia. Normas para interoperabilidade de *workflows* têm sido desenvolvidas desde meados da década de 1990 (MUEHLEN; NICKERSON & SWENSON, 2005).

Não é foco deste trabalho propor mais um *workflow*, mas sim apresentar formas alternativas e aprimoradas para o gerenciamento de recursos endereçáveis na *web*, com uso efetivo de URIs, aliando sua manifestação ao gerenciamento dos serviços, também endereçáveis na *web* ao atribuir a mesma importância aos dois tipos de gerenciamento citados, sempre de forma complementar, dentro do contexto do uso de um Sistema Gerenciador de Fluxos de Processos (CARVALHO, 2010), ou simplesmente Sistema Gerenciador de *Workflow*.

“Cooperação ao invés de controle” é a expressão usada pelo projeto *myExperiment*, uma extensão do projeto *myGrid*, que se apóia na existência de uma rede de cooperação dos serviços de dados com interfaces simples, o que torna mais fácil trabalhar com o conteúdo (DE ROURE; GOBLE; STEVENS, 2009). Neste sentido, *myExperiment* define a prestação de serviços para consumidores na mesma proporção em que reutiliza os serviços de provedores, o que promove um grande

potencial para a composição de serviços maiores, com acoplamento através de *mashups*, visando atender às necessidades dos cientistas. Assim, um provedor de serviços pode decidir com que nível de granularidade ele gostaria de expor suas operações internas.

Cenários de monitoramentos complexos que requerem o seqüenciamento de vários pares de mensagem *requisição-resposta* não podem ser descritos suficientemente usando SOAP e WSDL. Com isso, uma norma adicional e mais abrangente se torna necessária, onde predomina a demanda por um estilo arquitetural que manifeste a concepção de novos serviços que possam ser consumidos, baseados tanto em pares únicos de mensagens *requisição-resposta* quanto em várias manifestações de pares do mesmo gênero.

Isso se torna possível somente através do estabelecimento de um *referencial transacional* independente do sucesso ou insucesso da manifestação dos próprios serviços web, referencial que reflita não a causa, mas sim a consequência do uso dos serviços sob a forma de mudança de estados em recursos endereçáveis.

Traçando um paralelo entre o uso da arquitetura SOA e o uso da arquitetura ROA, percebe-se que REST e SOAP não são necessariamente opostos. REST é um estilo arquitetural fortemente apoiado no protocolo nativo HTTP que estimula o uso de recursos endereçáveis com o objetivo principal de propagação das suas mudanças de estado (FIELDING, 2000). SOAP é um protocolo geral que pode ser usado como um elemento de várias arquiteturas diferentes. SOA apresenta uma forte identificação com invocações de métodos remotos (RPC), enquanto que ROA e REST preocupam-se em manipular recursos com uma matriz CRUD (*CREATE, READ, UPDATE, DELETE*) ao utilizar respectivamente os métodos HTTP (*POST, GET, PUT e DELETE*).

O uso de URI específico para permitir o acesso a uma versão de arquivo, por exemplo, pode evitar que versões discrepantes deste arquivo sejam criadas inadvertidamente, o que corrobora para um melhor controle de versão dos produtos gerados pela cadeia de monitoramento do uso e de cobertura da terra, tendo em vista o uso de uma Arquitetura Orientada a Recursos – ROA – e o monitoramento da mudança de estado dos recursos manipulados.

Normas para o intercâmbio eletrônico de dados têm uma longa história, que remonta à década de 1970 (MUEHLEN; NICKERSON & SWENSON, 2005). O controle realizado sobre recursos expostos de forma endereçável contribui para o aprimoramento do gerenciamento dos serviços, à medida que o controle sobre a percepção da mudança de estados representacionais desses recursos promove também uma elevação do grau de controle sobre o funcionamento geral do próprio *workflow*, num contexto global, a fim de facilitar interações complexas. Em outras palavras, a descrição da interação global exige o formalismo de um modelo de processo que a Arquitetura Orientada a Serviços, baseada em chamadas de procedimentos remotos, não oferece.

Como consequência, a transferência e propagação dos estados de recursos atualizados, com vistas ao compartilhamento com outros cientistas, podem levar a uma redução do uso dos mecanismos de proveniência, manifestados em Sistemas de Gerenciamento de *Workflows* Científicos ou, na pior das hipóteses, levarem ao aumento da qualidade da proveniência obtida, aprimorando o processo de rastreabilidade, já que a existência de um determinado recurso se manifesta de forma endereçável, característica inerente à existência do URI.

#### **2.4.5. Aspectos da Especificação de *Workflows* Científicos**

Grande parte dos sistemas gerenciadores de *workflow* científico disponibiliza facilitadores para permitir que o usuário especifique a sua intenção de uso através da seleção dos componentes de interesse. Os dois facilitadores mais utilizados por sistemas gerenciadores de *workflow* são as interfaces gráficas cuja usabilidade favorece a participação de usuários finais, sem especialidade com qualquer forma de programação ou, em outros casos, uma linguagem de *workflow* usada para a definição da aplicação.

MEYER (2006) atribui grande relevância ao uso de diferentes níveis semânticos onde, sem levar em consideração detalhes sintáticos de invocação de programas ou do formato de dados, um usuário pode numa primeira abordagem se concentrar em aspectos de especificação dos *workflows* em questão (saber o quê

fazer), deixando que a tarefa da escolha do recurso computacional cabível (programa executável aplicável) seja realizada posteriormente (saber como fazer).

O nível de abstração mais baixo de uma definição da especificação de um *workflow* é a ocorrência de nomes físicos que referenciam os programas e arquivos de dados, o que caracteriza a ocorrência de um *Workflow concreto* (MEYER, 2006). *Workflow abstrato* é um conjunto de programas e arquivos de dados referenciados pelo seu nome lógico e suas dependências entre si, nome este que não caracteriza um *workflow* concreto uma vez que um programa ou arquivo de dados por ser associado a múltiplos nomes físicos.

Sendo assim, em um *workflow* abstrato de geoprocessamento um usuário poderia especificar um componente que execute uma tarefa de reprojeção de imagens MODIS (manifestação da sua intenção de uso) e quando o sistema gerasse o *workflow* concreto, um programa executável que realiza esta tarefa seria associado (manifestação do uso propriamente dito).

Planejamento ou escalonamento *de tarefas* refere-se ao mapeamento de um *workflow* abstrato em um *workflow* concreto e consiste na atividade da seleção dos recursos específicos, arquivos de dados e tarefas adicionais objetivando a formação de um *workflow* concreto. MEYER (2006) aponta **Gerência, Abrangência e Instante** como as três dimensões para a tomada de decisão do escalonamento de tarefas.

Na **Gerência Centralizada** as decisões de mapeamento são realizadas por um único escalonador central. Na **Gerência Hierárquica** existe o controle sobre a execução do *workflow* e o mapeamento de partes do *workflow* para outros escalonadores. Por último é apresentada a **Gerência Descentralizada** com mapeamento mútuo entre os escalonadores das partes componentes do *workflow*, sem a existência de um controlador central.

Quanto à dimensão **Abrangência**, MEYER (2006) classifica como *Local* o caso em que informações sobre a tarefa corrente ditam o escalonamento e *Global*, cujo escalonamento é ditado pela combinação de todas as tarefas. Na dimensão **Instante** são adotadas duas estratégias: i) *Estática* quando o *workflow* concreto é gerado antes da execução das tarefas e ii) *Dinâmica* quando o *workflow* concreto é gerado durante a execução das tarefas.

#### 2.4.6. Aspectos da Implementação de *Workflows* Científicos

Trabalhos recentes sobre sistemas de *workflow* científicos apresentam recursos computacionais que apontam aspectos inerentes ao trabalho de exploração científica realizada nas mais diversas áreas, tais como na medicina, em gestão ambiental, na área criminal, jurídica e da arquitetura dentre outras.

DIGIAMPIETRI, MEDEIROS e SETUBAL (2008) propuseram uma extensão do sistema gerenciador de *workflows* WOODS (Work-flOWbased spatial Decision Support System) com o uso de ontologias e planejamento em Inteligência Artificial baseado no módulo SHOP2 com vistas à obtenção de um processo de *composição automática*. Mecanismo similar ao de DIGIAMPIETRI é apresentado por KOOP et al. (2008) sob a forma de um sistema de recomendações que expõe uma coleção de *pipelines* passíveis de composição, conhecido como VisComplete.

O VisComplete (KOOP et al., 2008) é uma proposta apoiada no sistema de *workflow* VisTrails que fornece aconselhamento ao usuário do sistema de visualização para a construção dos novos encadeamentos, porém sem a intenção de automação na composição do *workflow*, como ocorre no trabalho de DIGIAMPIETRI. Com a modelagem realizada através de grafos, foi desenvolvido um algoritmo para prever conclusões prováveis com base na busca por sub-grafos de uso comum, numa coleção existente em uma base de dados integrada com o histórico de aplicação dos *Pipelines* de interesse.

*Rastreabilidade* é uma capacidade presente em várias implementações de sistemas de *workflow* e está relacionada à necessidade que os cientistas têm quanto à documentação dos seus monitoramentos para validações do estudo realizado através de análise mais apurada de cada resultado obtido, permitindo que tais monitoramentos sejam verificados e até mesmo reproduzidos por outros cientistas (DIGIAMPIETRI et al., 2008).

MALETIC, COLLARD e SIMÕES (2005) apresentam o conceito de *Rastreabilidade* na Engenharia de Software como uma forma de estabelecer relacionamentos entre exigências, especificações, projeto e o código correspondente. Estas características visam permitir a manifestação de mecanismos igualmente facilitadores entre o processo sobre como as exigências conduzem a

evolução das funcionalidades implementadas, bem como o caminho contrário, ou seja, iniciar a verificação a partir de implementações de software e retroceder na direção da obtenção de uma correspondência com suas exigências geradoras.

BACKES e NUNES (2008) apontam a dificuldade existente na criação e manutenção de relações precisas entre artefatos ao tentar somente relacionar artefatos entre si, fato que dificulta o uso de processos automatizados na derivação de novos relacionamentos e propõem o uso de estruturas intermediárias nos relacionamentos, chamadas de entidades, como um comparativo ao uso de Matrizes de Rastreabilidade<sup>17</sup>.

DIGIAMPIETRI também explora o conceito conhecido por *Proveniência* aliado ao conceito de *Rastreabilidade*, onde o primeiro está ligado à idéia da origem dos artefatos manipulados, considerados produtos gerados pelo monitoramento em questão.

FREIRE et al. (2008) destaca que a *Proveniência* serve como um facilitador e catalisador para processos de interpretação e compreensão dos resultados de um monitoramento ao permitir que se examine a seqüência das etapas que conduziram aos resultados dos monitoramentos quando executados, onde *insights* podem ser alcançados através de raciocínios encadeados a partir de marcações realizadas na produção obtida.

Por conta do crescente volume de dados manipulado em monitoramentos computacionais aliado à complexidade das análises, a captura da proveniência de forma manual esbarra em sérias limitações. Questões básicas como: i) *QUEM criou os artefatos e QUANDO*; ii) *QUEM modificou os artefatos e QUANDO*; iii) *QUAL processo deu origem a um artefato e*; iv) *Existem sub-artefatos derivados de um primeiro artefato?* – são algumas das preocupações que cientistas e coordenadores *e-Science* costumam dedicar esforço e tempo ao gerenciar os dados e anotar informação sobre a proveniência dos mesmos (FREIRE et al., 2008).

Ainda segundo FREIRE et al. (2008) podemos classificar duas formas de proveniência quando aplicada em tarefas computacionais em *e-Science*. A proveniência **prospectiva** captura a especificação da tarefa computacional, sejam

---

<sup>17</sup> Matriz de Rastreabilidade é um conceito amplamente discutido em Modelagem de Processos e Engenharia de Requisitos, dentro da Engenharia de Software, e apresenta relações de dependência entre os requisitos ou entre requisitos e componentes de um Software.

*scripts* ou *workflows*, bem como os passos correspondentes que devem ser seguidos para a produção dos dados.

A proveniência **retrospectiva** captura informação sobre o ambiente usado para derivar um dado produzido através dos passos executados. As informações capturadas variam desde o que foi executado e quem executou, entendendo-se até questionamentos sobre o tempo decorrido, com hora de início e término da execução.

Por conta do importante papel desempenhado pelas abordagens computacionais em Sistemas de Informação Geográfica para o desenvolvimento e a disseminação do conhecimento geoespacial, torna-se imperativo que neles sejam incorporados mecanismos de proveniência.

WANG et al. (2008) explica proveniência como a linhagem da derivação dos dados bem como os processos transformacionais aplicados na derivação dos mesmos e apresenta *proveniência espacial* como a informação sobre a linhagem dos *dados espaciais* e seus *workflows* de análise relacionados, que viabiliza a solução de problemas geoespaciais através de consultas sobre informações da linhagem dos dados e do *workflow* utilizado, onde os elementos básicos de proveniência espacial são capturados através do uso de um Modelo de Proveniência Espacial, garantindo a reprodutibilidade da transformação significativa dos dados.

O estudo de DEL RIO e DA SILVA (2007) concentrou-se num grupo de cientistas e demonstrou que somente uma porcentagem muito pequena dos pesquisadores analisados pôde identificar imperfeições em mapas sem a ajuda da proveniência do conhecimento. Ao utilizar mapas com a visualização da proveniência do conhecimento, a maioria dos cientistas pôde identificar e explicar diversos tipos de imperfeições do mapa, fossem peritos em GIS, peritos em mapas de dados sobre a gravidade, ou não.

ELLKVIST et al. (2008) apresentou um ambiente onde os usuários poderiam compartilhar mudanças em um *workflow* comum em tempo real. Este ambiente permitiu que os usuários vissem as mudanças promovidas pelos colaboradores na construção do mesmo *workflow* à medida que elas eram feitas. Em seu trabalho também foi apresentado um algoritmo para sincronismo entre os componentes desenhados pelos usuários colaborativos de um mesmo *workflow*.

O ambiente descrito por ELLKVIST et al. (2008), porém, não tinha como propósito mesclar as mudanças realizadas pelos usuários colaboradores na construção do mesmo *workflow* de forma automática, tal como acontece em sistemas de controle de versão. Cada modificação realizada era considerada uma contribuição proposta por um colaborador.

## 2.5. Modelos, Modelagem e Simulação

Segundo SGRILLO & SGRILLO (2007), são quatro as aplicações de modelos de simulação: entendimento do sistema, projeções, previsões e otimização.

No ***entendimento do sistema***, modelos podem auxiliar consideravelmente na organização das informações disponíveis e no planejamento experimental, através da identificação das variáveis mais importantes para a amostragem, da caracterização da frequência de amostragem e no alcance da precisão necessária, entre outros.

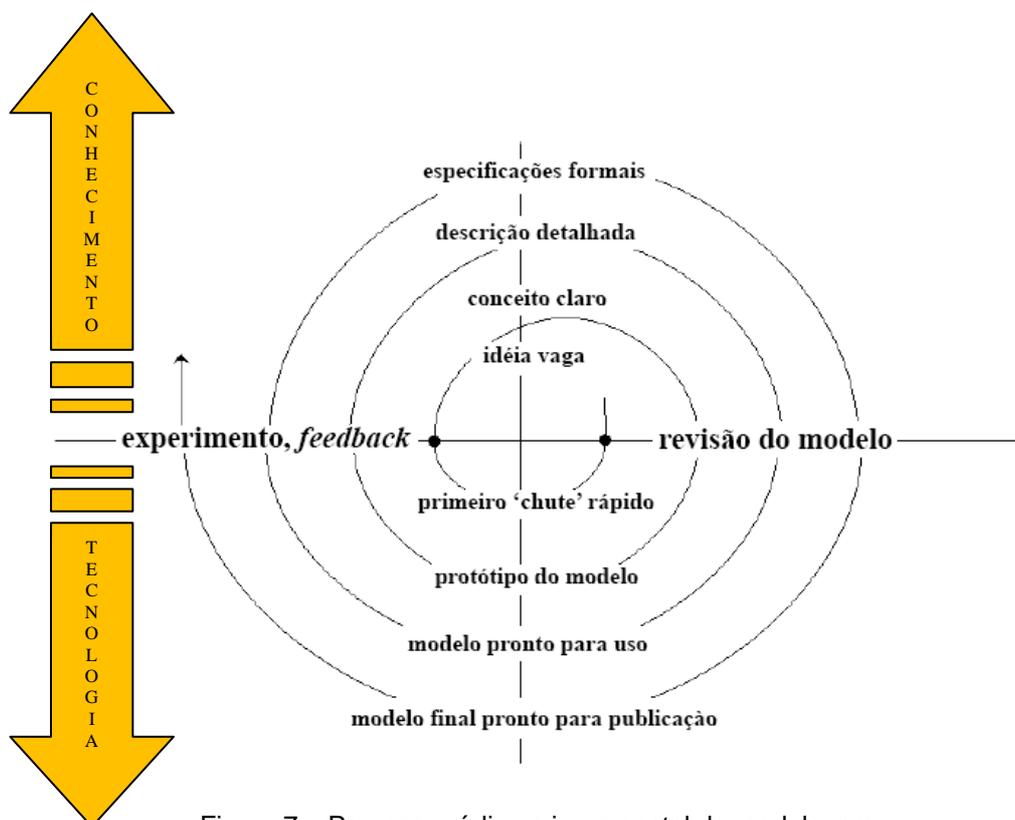


Figura 7 – Processo cíclico e incremental de modelagem.

Fonte: CARNEIRO, 2009.

Nota-se que entendimento do sistema, projeções, previsões e otimizações apresentam-se como atividades-fim destinadas à aplicação de simulações. Por outro lado, obtenção, calibração e validação dos modelos (Figura 8) apresentam-se como disciplinas ou atividades-meio, necessários à construção do conhecimento manifestado sob a forma dos modelos matemáticos aplicados nas simulações. Este processo é conhecido como processo cíclico e incremental de modelagem e destaca a modelagem como um processo de transformação entre dados, informação, conhecimento e tecnologia (CARNEIRO, 2009).

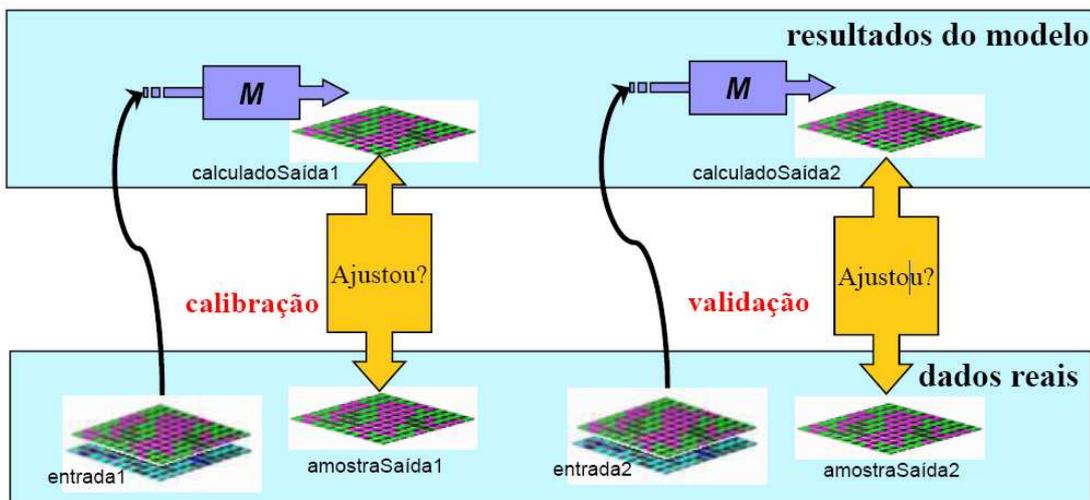


Figura 8 - Processo de Calibração de um Modelo

Adaptado de: CARNEIRO, 2009

O método da Pesquisa Operacional tradicional se inspira no método científico galileano (YOSHIZAKI, 1997), ou método experimental, muito aplicado em ciências naturais, como as ciências ambientais. Mais recentemente, disciplinas como Inteligência Artificial (IA) e Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) também incorporaram o desenvolvimento de modelos matemáticos para auxílio à decisão. A modelagem matemática é particularmente desejável quando a situação ou o problema a serem avaliados são quantificáveis (objetivos, variáveis e relações conhecidas) e tem razoável complexidade estrutural (YOSHIZAKI, 1997).

Ocorrências de uso de modelos de programação linear recursiva, voltados para estudos baseados na complexidade do processo de desenvolvimento agrícola

no Brasil, contam com manifestações da década de 80, tais como o trabalho de SILVA et al.(1983). Ainda nessa época apontavam-se dificuldades quanto à predição de produção agrícola e projeção do uso dos recursos, ambos diretamente relacionados entre si e aos processos de acumulação de capital e de mudança tecnológica. Além disso, apontava-se a necessidade de antecipação ou previsão sobre os *impactos* dos diversos *instrumentos de política agrícola*, este último abrangendo todas as dificuldades anteriormente citadas (SILVA et al,1983).

Outro exemplo, já na década de 90, é o caso de um consórcio de usinas de açúcar e álcool, que baseou sua decisão de criar uma distribuidora de álcool nos resultados de um modelo de transporte (YOSHIZAKI, MUSCAT & BIAZZI, 1996). Insere-se também neste contexto o processo de mudança tecnológica como umas das principais fontes que alimentam o processo de desenvolvimento agrícola (SILVA et al, 1983) , ao se introduzir múltiplas técnicas e certas regras para governar sua adoção ou substituição, sempre incorporadas ao modelo de programação linear recursiva.

O uso profissional de modelos matemáticos tem requerido tradicionalmente o emprego de softwares específicos e concebidos como caixas-pretas, onde usuários finais não têm acesso ao conteúdo programado para o suporte ao processamento de simulações, o que os torna contra-exemplos de uso amigável, tornando imprescindível a presença de um especialista. No final do século XX, o mesmo fator de escassez de recursos computacionais também se manifestava através da necessidade de uso de computadores específicos.

Porém, com a evolução tecnológica ocorrida de meados da década de 80 até meados da década de 90, computadores pessoais passaram a assumir o papel antes somente desempenhado por computadores de grande porte, além da maior proliferação do uso de arquiteturas de sistemas distribuídos, com o referencial principal no advento da própria arquitetura *web*.

Já na década de 90 era possível encontrar a solução de modelos matemáticos que resolvessem problemas de programação linear em microcomputadores e *Workstations*, com milhares de variáveis e centenas de restrições em tempos razoáveis, usando programas disponíveis no mercado (YOSHIZAKI, 1997), situação que anteriormente exigia enormes *mainframes*.

Modelos de simulação estocásticas grandes e complexos já podiam ser resolvidos em microcomputadores (YOSHIZAKI, 1990).

A especialização de profissionais capacitados na concepção e elaboração do conhecimento envolvido na construção, desenvolvimento e uso adequados de modelos era determinante para o sucesso de projetos de *softwares* que envolviam sua construção a partir da Pesquisa Operacional. Nota-se aqui uma ampla disseminação do conhecimento tácito, com experiências classificadas pela gestão do conhecimento como *experiências de socialização*, ou seja, experiências de transformação de conhecimento tácito em conhecimento tácito.

A importância da existência do profissional de modelagem se pronunciava através da criação de grupos específicos de Pesquisa Operacional separados dos grupos com profissionais de processamentos de dados que trabalhavam em torno do *mainframe* (YOSHIZAKI, 1997), tornando evidente aqui a existência de dois tipos diferentes de profissional, aquele que idealizava e formalizava modelos e aquele que aplicava e executava modelos.

Dentro do contexto de uso de modelos, podem ser identificados tipos de simulação que variam entre simulação analógica e simulação digital (SILVEIRA & CARVALHO, 2009). A primeira trabalha com modelos físicos, por exemplo, o modelo reduzido de uma ponte. A segunda é realizada em computador, sob a forma do software que é apresentado nesta seção, e se distingue entre simulações com modelos contínuos e simulações com modelos discretos, como é mostrado na Figura 9.

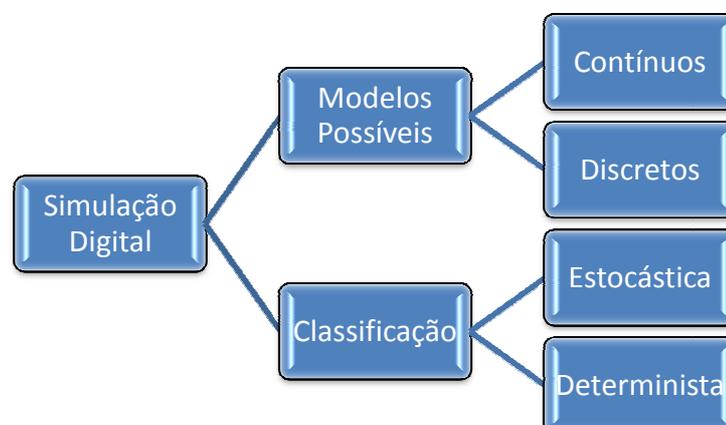


Figura 9 - Simulações digitais com modelos contínuos ou modelos discretos.

Adaptado de: SILVEIRA & CARVALHO, 2009

YOSHIZAKI (1997) cita pacotes de software como MPS, posteriormente MPS-X, para programação linear. Para simulação discreta estocástica, é citado o software GPSS. MPS, MPS-X e GPSS eram todos produtos da IBM (YOSHIZAKI, 1997).

Voltado para simulação de processos contínuos (YOSHIZAKI, 1997), o pacote de software DYNAMO foi desenvolvido por Jay Forrester (1968), membro do grupo de sistemas dinâmicos do MIT (CARNEIRO, 2004). Todos estes exemplos de pacotes de software para simulação são exemplos contemporâneos de programação em linguagens de segunda geração como o FORTRAN e o COBOL (YOSHIZAKI, 1997).

## **2.6. Modelos de Programação Linear Recursiva**

Modelos são representações simplificadas da realidade que incluem declarações (hipóteses) sobre as relações entre os componentes do sistema. Se estas relações são suficientemente detalhadas, *os modelos podem ser formulados em termos matemáticos* e podem ser estabelecidas conseqüências lógicas das hipóteses envolvidas no problema (SGRILLO & SGRILLO, 2007). Segundo GETIRANA (2005), programação linear define-se como uma técnica adotada em muitos problemas onde *funções objetivo e restrições do sistema* real são traduzidas em formas matemáticas particularmente simplificadas.

O uso de modelos matemáticos para auxílio à decisão foi estruturado pela disciplina conhecida como Pesquisa Operacional, que surgiu como área independente do conhecimento na Segunda Guerra Mundial (YOSHIZAKI, 1997). Na literatura existente sobre o assunto são citados vários exemplos de uso estratégico dos primeiros modelos matemáticos baseados em Pesquisa Operacional, tais como modelos de atrito em combate na área militar, modelos de estoque (culminando com regras práticas, como o método de ponto de reposição e modelos de lote econômico de compras) pelos laboratórios da *Bell* e de teoria de filas por *Erlang* (estudos de congestionamento de linhas telefônicas), ambos desenvolvidos no início do Século XX (YOSHIZAKI, 1997).

Segundo SGRILLO & SGRILLO (2007), um modelo matemático é composto basicamente por:

- Um sistema de equações diferenciais, que representam os fluxos descritores de processos.
- Um conjunto de equações algébricas que são integradas numericamente para se obter o valor dos compartimentos em cada instante no tempo e que calculam os coeficientes das equações diferenciais.

GETIRANA (2005) sintetiza a composição de todos os problemas de programação linear em: (1) variáveis de decisão, consideradas relevantes ao problema, passíveis de quantificação e disponibilidade; (2) função objetivo, que descreve as relações que se deseja aperfeiçoar no problema e; (3) restrições que correspondem aos elementos restritivos que todo problema possui.

SILVA et al (1983), fundamenta a estrutura do método de programação linear recursiva através de dois componentes:

- Um modelo estático convencional, que envolve um conjunto de atividades, uma estrutura de restrições e uma regra de decisão;
- Um sistema de realimentação que abrange um conjunto de funções que *associa o nível de uma atividade num determinado período a seu correspondente nível no período precedente*, relacionando também a disponibilidade de recursos no presente ao estoque acumulado no passado.

O conjunto de atividades a que SILVA (1983) se refere, manifesta-se neste trabalho através do investimento em determinadas culturas do estado do Mato Grosso do Sul, tais como o plantio de cana-de-açúcar, frente aos incentivos do governo federal, deflagrando o avanço da fronteira agrícola (MARTORANO et al., 2009) na região da Bacia do Alto Taquari (BAT).

### 2.6.1. Modelos de simulação da dinâmica do uso do solo

Modelos de simulação da dinâmica do uso do solo são conhecidos como modelos LUC (Land Use Cover Change). Modelos LUC compreendem um conjunto de métodos matemáticos e estatísticos para analisar a evolução temporal de um processo espacial, MEIRELLES et al. (2007).

Grande parte dos métodos usados em SIG é desenvolvida sobre a dimensão espacial. Nestas aplicações, os dados são mais densos na dimensão espacial que na dimensão temporal (VALENCIA, 2008). A determinação das causas e conseqüências da dinâmica das mudanças do uso do solo apresenta-se como uma questão importante em estudos e avaliações ambientais, baseando-se em análises espaciais com domínio espaço-temporal (Figura 10).

A dinâmica da mudança do uso do solo é um *processo complexo*, já que a interação de fatores socioeconômicos e biofísicos são os fatores determinantes para a sua ocorrência. Parte desta complexidade pode ser explorada através da geração de simulações das mudanças do uso do solo para um futuro próximo baseado no uso do solo atual e passado (VALENCIA, 2008).

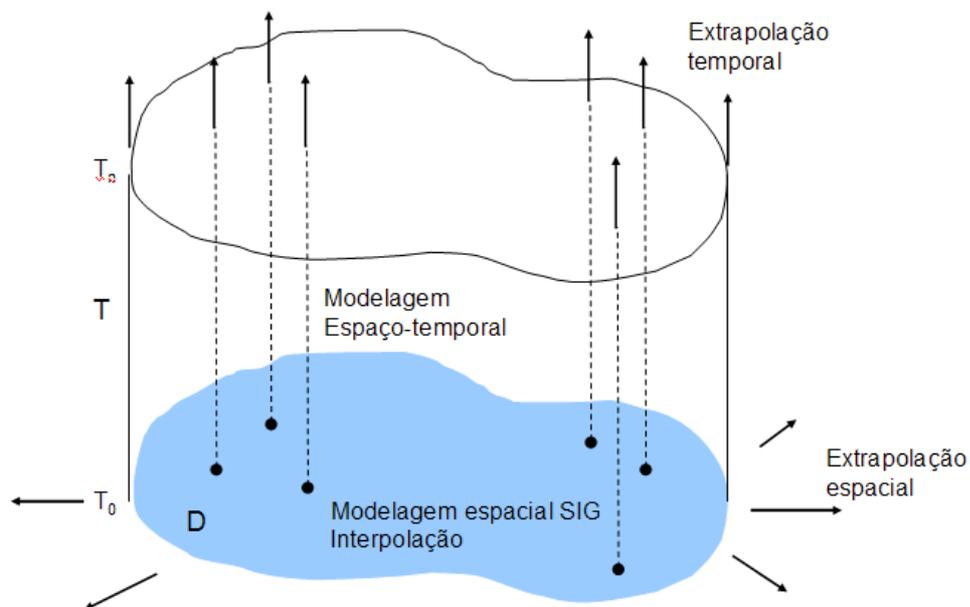


Figura 10 - Domínio espaço-temporal da análise espacial.

Fonte: VALENCIA, 2008

Modelos de simulação da dinâmica do uso do solo podem ser configurados a partir de Grafos de Causa (Figura 11) ou através do uso de Matrizes de Transição (VALENCIA, 2008).

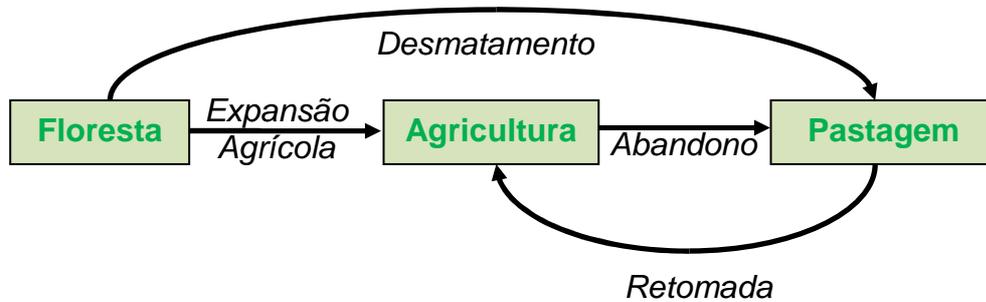


Figura 11 - Grafo de Causa com as Mudanças de Uso do Solo.

Adaptado de: VALENCIA, 2008

Na Figura 12, o valor um (1) indica que é permitida a conversão entre classes de uso do solo, tais como agricultura, floresta e pastagem, enquanto que o valor zero (0) indica que a conversão não é possível. Ou seja, é totalmente plausível a mudança de uso da terra da classe Agricultura para a classe Pastagem, assim como é de total pertinência a “mudança” de Agricultura no presente para Agricultura no futuro, o que representa a permanência da mesma atividade na região de estudo em períodos distintos. O mais importante é estabelecer regras para a ferramenta realizar as análises em função das matrizes de ponderações.

		Futuro		
		Floresta	Agricultura	Pastagem
Presente	Floresta	1	1	1
	Agricultura	0	1	1
	Pastagem	0	1	1

Figura 12 - Matriz de Transição

Fonte: VALENCIA, 2008

## 2.7. Gestão do conhecimento

Com a atual realidade econômica, onde o conhecimento é um fator competitivo diferenciador para os indivíduos, as empresas e as nações (OLIVEIRA, 2007), insere-se a Gestão do Conhecimento, termo que tem como objetivo principal fazer com que pessoas interessadas e participantes respondam de forma dinâmica e eficiente às mudanças em um ambiente externo altamente imprevisível, estimulando a troca de experiência entre os indivíduos e contribuindo com o conhecimento organizacional (OLIVEIRA, 2007).

NONAKA e TAKEUSHI (1997) observam que o conhecimento, diferentemente da informação, refere-se a crenças e compromisso, e classificam o conhecimento humano em dois tipos: conhecimento tácito e conhecimento explícito. Os conhecimentos tácitos e explícitos são unidades estruturais básicas que se complementam e a interação entre eles é a principal dinâmica da criação do conhecimento.

Conhecimento tácito possui algumas dificuldades de ser articulado na linguagem formal, pois se trata de conhecimento pessoal incorporado à experiência individual e geralmente o seu compartilhamento pode sofrer interferências de fatores intangíveis, tais como crenças pessoais, intuições, idéias, habilidades etc. Neste caso, o simples uso de julgamento, intuição e experiência pode não ser suficiente para situações que requerem tomadas de decisão, havendo a necessidade do apoio de modelos formais.

Por outro lado, o conhecimento explícito é o que pode ser trabalhado através da linguagem formal, através de expressões matemáticas, especificações, documentações etc. Sistemáticamente comunicável, pode ser transmitido formal e facilmente entre as pessoas. Como um exemplo de aplicação de modelos de programação linear recursiva, ao tornar possível a avaliação de diversas forças motrizes causais (*driven forces*) e seus respectivos cursos de ação (descrição do passo-a-passo que deve ser realizado em função das conseqüências manifestadas), modelos auxiliam inclusive a aprimorar a percepção dos tomadores de decisão.

OLIVEIRA (2007) baseia-se em várias definições para dizer que a Gestão do Conhecimento concentra-se em quatro áreas de ênfase:

- Monitoramento de alto a baixo e facilitação de atividades relacionadas ao conhecimento;
- Criação e manutenção da infra-estrutura do conhecimento;
- Renovação, organização e transformação dos ativos de conhecimentos;
- Utilização dos ativos de conhecimentos para compreender o seu valor.

OLIVEIRA (2007) aponta dois tópicos principais como metas a serem atingidas pela Gestão do Conhecimento: A melhor compreensão acerca do valor dos ativos de conhecimento das atividades-fim de uma organização, bem como a viabilização de ações que sejam mais inteligentes possível, objetivando assegurar sua própria viabilidade e sucesso global.

O alcance dessas metas, na prática, não é uma tarefa fácil, pois visa lidar concomitantemente com conhecimentos tácitos e explícitos, mapeando-os e os tornando úteis aos processos ambientais de políticas públicas aplicáveis. Para tanto, o conhecimento tende a oscilar entre tácito e explícito através da manifestação de um processo dinâmico e contínuo, conhecido como *espiral do conhecimento* (Figura 13), processo que transforma o conhecimento de tácito para tácito, de explícito a explícito, de tácito a explícito, e finalmente, de explícito a tácito, através de uma mudança da abordagem competitiva para abordagem cooperativa, propagando assim o conhecimento entre especialistas e *stakeholders*<sup>18</sup>, tornando-se parte da base de conhecimento de cada pessoa.

---

<sup>18</sup> *Stakeholder* (parte interessada ou interveniente) é um termo usado em administração que se refere a qualquer pessoa ou entidade que afeta ou é afetada por atividades conjunturais.



Figura 13 - Espiral do Conhecimento  
Adaptado de: FROTA, PANTOJA & SÉLLOS, 2006

Neste trabalho, são apontadas como conhecimentos tácitos as experiências adquiridas pelas pessoas que assumem as figuras de criadores de modelos e/ou criadores de políticas. Este conhecimento passa a ser explicitado, ou seja, assume alguma forma de documentação, quando os criadores de modelos e políticas públicas compartilham suas percepções em um ambiente voltado para a colaboração de experiências, permitindo que a troca de conhecimento seja realizada com o reaproveitamento de políticas e modelos re-configuráveis no contexto de simulações ambientais.

## 2.8. Trabalhos Relacionados

Nesta seção são apresentados trabalhos que serviram como origens e referenciais de pesquisa para os assuntos abordados nesta dissertação, onde são discutidos trabalhos de relevância para o estudo de propostas de uso de modelos matemáticos aliados ao uso de *workflows* científicos e outros baseados na gestão do conhecimento através da disseminação de modelos, sempre com o foco na avaliação dos impactos deflagrados pela aplicação de políticas públicas.

Logo a seguir, são explicitados os conceitos que fundamentam a metodologia originalmente desenvolvida na Europa, relativa ao projeto SENSOR (*Sustainability Impact Assessment: Tools for Environmental Social and Economic Effects of Multifunctional Land Use in European Regions*). Uma das contribuições deste trabalho está na concepção e implementação de mecanismos de adaptabilidade e colaboração dentro do processo de avaliação da transferência de tecnologia da ferramenta SIAT para o Mercosul, com a adaptação da ferramenta derivada SIAT-TTC aliada aos preceitos que envolvem o sensoriamento remoto e geoprocessamento no contexto do projeto ENVIAIR.

### **2.8.1. O Ambiente AGROMET**

O ambiente AGROMET é uma plataforma que suporta o trabalho científico de forma cooperativa, proporcionando a reutilização de dados, metadados, modelos, programas e definições de *workflows* (DA ROCHA B. PINTO, 2003).

Para alcançar este objetivo o ambiente é composto por cinco módulos:

- i) Integração de dados,
- ii) Apoio aos *workflows* científicos;
- iii) Suporte à decisão colaborativa;
- iv) Gestão do conhecimento científico e;
- v) Gerenciamento de documentos e conteúdo.

Trata-se de um estudo de caso realizado na área de agrometeorologia, também na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos) voltado para a compreensão das questões envolvidas no trabalho científico colaborativo com vistas ao acesso, a inovação e a melhor disseminação do conhecimento científico no ambiente de trabalho.

### 2.8.2. A Arquitetura SRMW (*Scientific Resource Management-Web*)

CAVALCANTI, MATTOSO, CAMPOS (2003) propuseram extensões para uma arquitetura SRM (*Scientific Resource Management*) para incluir fluxos de apoio científico e experiências baseando-se em uma abordagem metamodelo, e uma SPM (*Scientific Publication Metamodel*) para fornecer suporte à arquitetura de SRM mostrada na Figura 14.

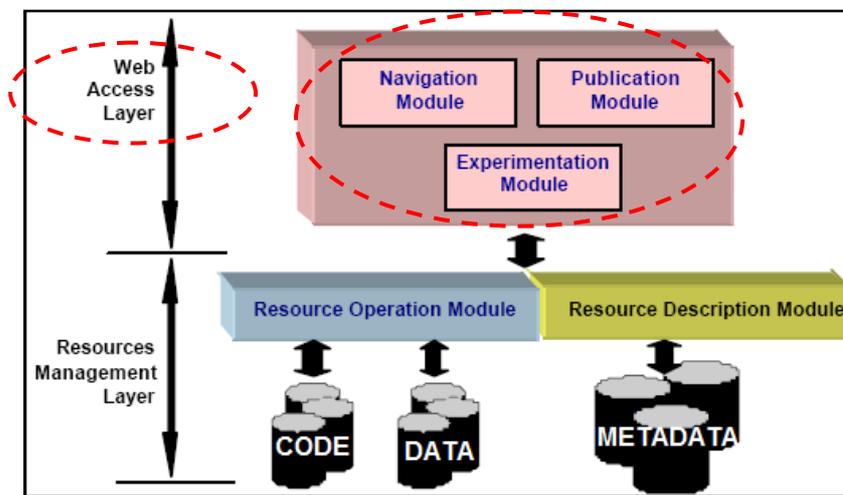


Figura 14 – Arquitetura SRM  
Adaptado de: CAVALCANTI, MATTOSO, CAMPOS, 2003

Para facilitar o intercâmbio, a reutilização e a difusão de informações, foi proposta por CAVALCANTI, MATTOSO, CAMPOS (2003) uma arquitetura baseada em serviços *web* (Figura 15) para gerenciar recursos científicos distribuídos. Sua principal contribuição é a definição de uma arquitetura apoiada em metadados em um sistema de apoio a decisão para gerir os recursos científicos disponíveis em toda a *web*, onde os cientistas são capazes de publicar modelos para uso direto.

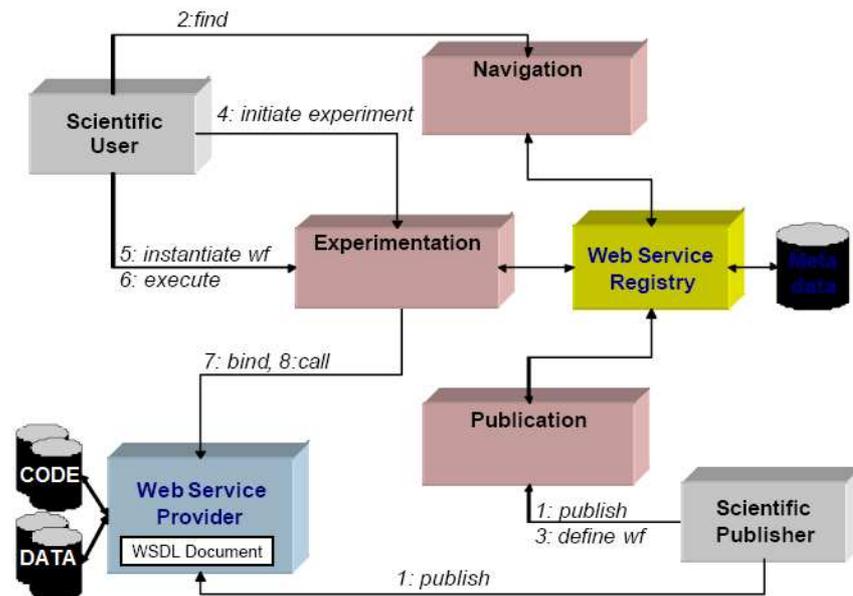


Figura 15 – Arquitetura SRM baseada em serviços web  
Adaptado de: CAVALCANTI, MATTOSO, CAMPOS, 2003

A arquitetura e o metamodelo trabalharam com três pilares fundamentais:

- (i) a definição de três categorias básicas de metamodelo: modelo, programas e dados,
- (ii) a caracterização de experiências e ensaios,
- (iii) publicação e navegação dos recursos científicos utilizando plataforma de serviços web.

### 2.8.3. O Projeto SegHidro

O projeto SegHidro propõe uma infraestrutura de tecnologia para viabilizar o compartilhamento de dados, conhecimento e poder computacional a serviço de uma melhor gestão dos recursos hídricos do Brasil (SEGHIDRO, 2006). Sua concepção e construção estão voltadas para o uso de um sistema de apoio à gestão sustentável dos recursos hídricos no Nordeste do país (SEGHIDRO, 2006).

Ao final da sua primeira etapa (SegHidro), seguiu-se uma segunda etapa (SegHidro 2), esta última financiada pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e com o objetivo de desenvolver uma plataforma, desta vez baseada em grades

computacionais, para executar as mesmas aplicações de apoio à gestão sustentável de recursos hídricos (SEGHIDRO, 2006).

Para ajudar os usuários na simulação dos modelos meteorológicos e hidrológicos encadeados, o SegHidro usa a *web*<sup>19 e 20</sup>. Estes modelos são utilizados para ajudar o governo e os investigadores a fazer melhores decisões sobre o desenvolvimento sustentável. Desta forma, torna-se possível, por exemplo, decidir que tipo de método agrícola será apropriado para o clima da região, e que quantidade de água estará disponível no ano seguinte.

O SegHidro mantém um ambiente virtual de compartilhamento baseado em três pilares (SEGHIDRO, 2006): servidores *opendap*, *workflows* científicos e processamento de alto desempenho em grades computacionais. Uma das grandes preocupações apresentadas pelo projeto versa sobre a viabilização da interoperabilidade entre diferentes *middlewares* computacionais na busca pela obtenção de maior escalabilidade e pelo maior desacoplamento da plataforma.

Servidores *OPeNDAP* (*Open-source Project for a Network Data Access Protocol*<sup>21</sup>) viabilizam o compartilhamento de dados no SegHidro. Essencialmente, o *OPeNDAP* fornece uma **API REST** que têm como um dos principais atrativos a possibilidade de optar, em tempo de uso da ferramenta, pela **transferência de todos os dados ou de apenas partes deles, disponíveis em um dataset no servidor**, baseando-se em restrições de natureza temporal ou espacial, operação comumente chamada de "recorte de dados" (SEGHIDRO, 2006).

#### 2.8.4. O projeto SEAMLESS

O projeto *SEAMLESS*<sup>22</sup> visa transformar o conhecimento e a ciência de avaliação integrada dos sistemas agrícolas para um formato de ferramentas de pesquisa operacional e modelos (GENIAUX et. al, 2009). Um produto chave dentro do *SEAMLESS* é o *SEAMLESS-IF*, uma estrutura integrada que incorpora relações

---

<sup>19</sup> <http://tambaqui:8080/MudancasClimaticas/home.jsf>

<sup>20</sup> <http://tambaqui.lsd.ufcg.edu.br:8080/cisternasInterface/Cisternas.html>

<sup>21</sup> <http://opendap.org/>

<sup>22</sup> *System for Environmental and Agricultural Modelling*

e processos através de disciplinas e escalas e combina análise quantitativa com o conhecimento qualitativo.

O *SEAMLESS-IF* se baseia no conceito da teoria de **sistemas hierárquicos** e em estratégias para permitir acoplamento flexível de modelos e ferramentas. Engloba componentes do modelo, que incidem sobre os processos em diferentes níveis hierárquicos, sistemas e processos de simulação no domínio biofísico econômico ou social.

O acoplamento flexível ou acoplamento “ligável” dos componentes de modelo e ferramentas *SEAMLESS-IF* são tratados pelo framework de integração do *SEAMLESS*, o chamado *SeamFrame*. O padrão OpenMI (*Open Model Interface*) foi escolhido como base para a integração técnica dos modelos manipulados pelo *SeamFrame*. O framework OpenMI foi desenvolvido pelo instituto Alterra<sup>23</sup> e construído sobre o Java SDK, totalmente compatível OpenMI 1.4. *SeamFrame* acrescenta a norma OpenMI ao suporte para tipos de dados semânticos, complexas estruturas de dados descritos por ontologia<sup>24</sup>.

Métodos escaláveis permitem a transferência de informações de um nível hierárquico para o outro e oferecem um importante foco científico no projeto. A transferência de informação é realizada através do uso de uma anotação Java chamada *@ConceptURI* (KNAPEN et. al, 2008) e por ontologias. A organização da arquitetura do *SEAMLESS-IF* pode ser observada na Figura 16.

*SEAMLESS-IF* e *SeamFrame* usam as ontologias para a integração dos modelos conceituais (RIZZOLI et. al, 2009). *Wrappers*, ou empacotadores, foram desenvolvidos para tornar compatíveis com o *SeamFrame* os modelos já existentes e programados em outras linguagens antes da criação do *framework*, quando necessário. Assim, pode atuar como “ponte” entre o *framework* de modelos baseado em Java e modelos escritos em outras linguagens de programação (RIZZOLI et. al, 2009).

---

<sup>23</sup> <http://www.alterra.wur.nl/UK/>

<sup>24</sup> Uma ontologia (em termos de Tecnologia da Informação) é uma representação formal de um conjunto de conceitos dentro de um domínio e as relações entre esses conceitos. Ele é usado para definir um domínio e pode ser usado para raciocinar sobre as propriedades desse domínio.

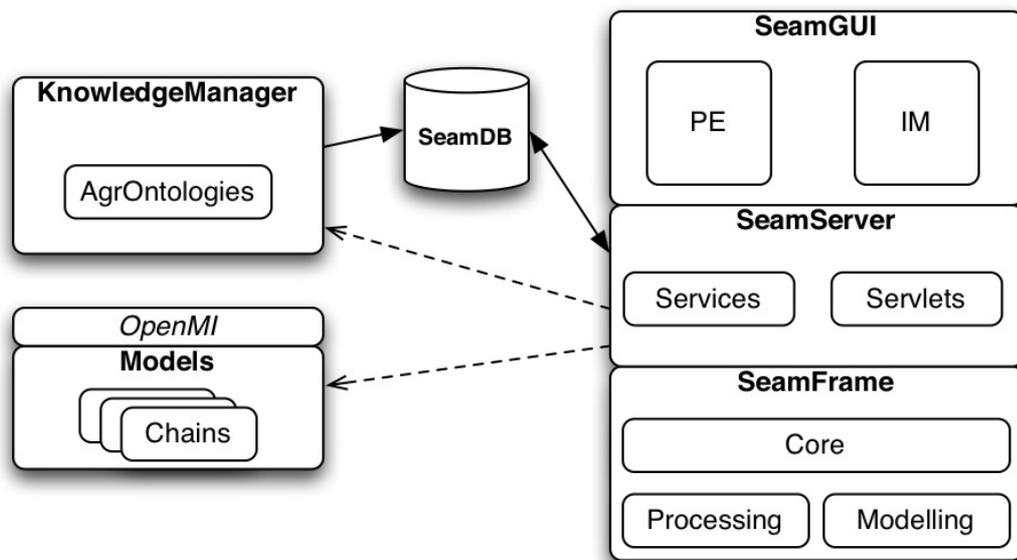


Figura 16 - Arquitetura SEAMLESS-IF

Fonte: RIZZOLI et. al, 2009

Como a ontologia desempenha um papel fundamental na arquitetura SEAMLESS-IF, em muitas situações de uso são aplicados geradores de código para criar as classes de transferência de dados entre as camadas da arquitetura de software (RIZZOLI et. al, 2009), por exemplo, de e para o banco de dados central, ou entre o servidor e a interface do usuário baseada na web.

### 2.8.5. O projeto SENSOR

O SENSOR é um projeto integrado que visa o desenvolvimento de ferramentas para análise dos efeitos ambientais, sociais e econômicos do uso multifuncional da terra, originalmente em regiões européias, destinado a fundamentar o processo de avaliação de impacto na sustentabilidade. O projeto reuniu até hoje 39 parceiros de investigação de 15 países europeus, com a disseminação do processo de transferência de tecnologia para China, Brasil, Argentina e Uruguai (VERWEIJ et. al, 2008).

O projeto integrado tem como principal produto a ferramenta SIAT (Ferramenta de Avaliação do Impacto na Sustentabilidade). Trata-se de uma

ferramenta de avaliação quantitativa apoiada em multi-modelagem que provê a avaliação de cenários prospectivos através das disciplinas, setores e dimensões da sustentabilidade (VERWEIJ et. al, 2008). Ela inclui a avaliação dos efeitos ambientais, sociais e econômicos em termos de impactos da sustentabilidade.

Avaliações de impacto “ex-ante” são utilizadas para facilitar a formulação de políticas de desenvolvimento sustentável. O projeto *SENSOR* desenvolve uma visão ampla em todas as áreas políticas e setores de uso da terra, que permite ao usuário simular os impactos das mudanças fundamentais da orientação política apoiados em estruturas conceituais que viabilizam o processo de avaliação do impacto na ferramenta SIAT.

As estruturas conceituais apresentadas na Figura 17 e abordadas pelo projeto *SENSOR* são as seguintes:

- Caso de Política (*policy case*) – referencia um conjunto de instrumentos políticos através dos quais um tomador de decisão pode alterar as políticas (e conseqüentemente os impactos decorrentes da escolha realizada). Ao definir a política e mudar os valores padrão dos instrumentos da política, um usuário SIAT define sua própria política.
- Cenário de Referência (*baseline scenario*) – define a margem de manobra ou escopo de solução para cada um dos instrumentos políticos.
- Funções de Resposta (*response functions*) – são ponderáveis para regiões distintas, que definem a relação entre um instrumento de política único e uma variável intermediária, como uma mudança no uso da terra de certa região;
- Regras Indicadoras (*indicator rule*) – enquanto funções de resposta são específicas para uma região e um caso de política, uma regra indicadora é mais genérica e pode se aplicar a várias regiões ou casos de política. Regras Indicadoras são obtidas por especialistas com base em dados atualmente disponíveis.

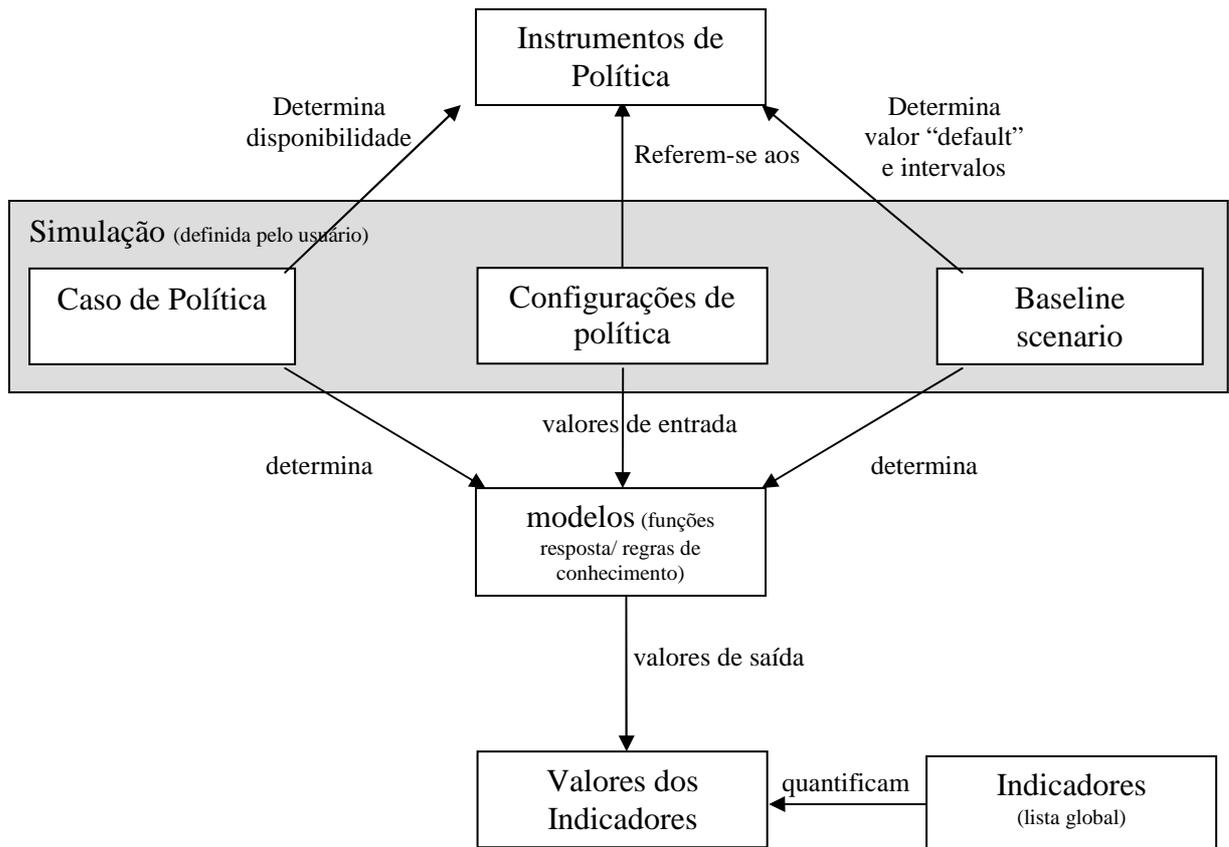


Figura 17 - Organização completa da aplicação SIAT para realização os cálculos  
Adaptado de: VERWEIJ et. al, 2008.

A tradução das políticas em mudanças de uso da terra é baseada em um *framework* de modelagem que contém um modelo macro-econômico, em nível de estado-membro, chamado NEMESIS (JANSSON et. al, 2008), um modelo de alocação e utilização da terra chamado CLUE-s (VALENCIA, 2008), voltado para de modelagem da relação causa e efeito do uso do solo e os modelos setoriais (silvicultura, agricultura, energia e transportes, turismo e urbano) (VERWEIJ et. al, 2008) como pode ser visto na Figura 18.

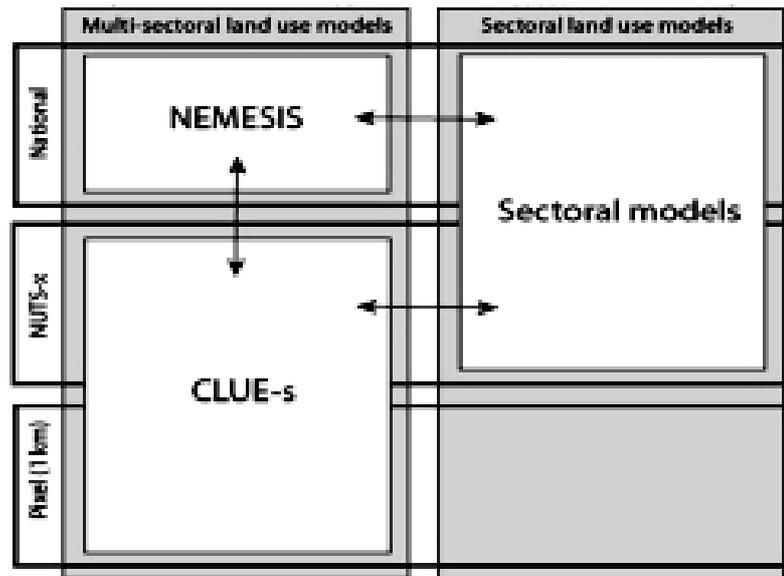


Figura 18 - *Framework* para modelagem de mudanças de uso da terra e variáveis intermediárias.

Fonte: VERWEIJ et. al, 2008.

Estes modelos, no entanto, não fazem parte da ferramenta de software SIAT. SIAT é uma ferramenta de processamento instantâneo com um tempo de resposta curto e requer pouco treinamento para uso. Já a modelagem consiste em modelos complexos, que exigem peritos tanto em conhecimento do domínio como conhecimento técnico para trabalhar com eles.

Ao invés de promover a incorporação dos modelos NEMESIS e CLUE-s como partes integrantes da ferramenta SIAT, a proposta está concentrada na idéia de que os modelos sejam “enxertados” manualmente na base de dados para representarem as respostas das definições de política para uma série de variáveis intermediárias, tais como classes de uso da terra, após terem sido pré-executados várias vezes com base em regressões lineares apoiadas em dados históricos.

## 2.9. Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado um estudo realizado da literatura existente com enfoque nos tópicos levantados durante a execução deste trabalho. Este estudo serviu como base para o desenvolvimento da solução proposta neste trabalho.

Foram ainda explicitados os conceitos e as tecnologias envolvidas na elaboração desta solução.

Trabalhos existentes e relevantes foram apresentados na área de planejamento e gestão ambiental aliados ao geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelos de simulação da dinâmica do uso do solo, além da discussão sobre questões de relevância para o estudo de propostas de uso de modelos matemáticos aliados aos *workflows* científicos, com enfoque na avaliação dos impactos na sustentabilidade deflagrados pela aplicação de políticas públicas.

CAVALCANTI, MATTOSO, CAMPOS (2003) apontam metamodelos e bases ontológicas como as duas abordagens existentes para descrever recursos científicos. Ratificam ainda a preferência pelo uso dos metamodelos por questões de adequação e pelo fato de que metamodelos oferecem uma estrutura pré-definida com a qual os recursos estão de acordo.

O exemplo de compartilhamento de recursos através de ambiente virtual citado no subitem 2.8.3 apresenta grande preocupação com o nível de acoplamento entre os seus módulos e se apresenta no formato de uma API REST existente em servidores *opendap*. Por outro lado, a solução proposta pelo SEAMLESS-IF (subitem 2.8.4), baseia-se em ontologias para estabelecer a comunicação externa entre os módulos componentes.

Por outro lado, CAVALCANTI, MATTOSO, CAMPOS (2003) observam que a construção de ontologias requer um esforço árduo e especializado que deve ser feito para cada domínio de aplicação científica diferente, além da possibilidade de que a ausência de uma metodologia para apoiar a construção de ontologias possa comprometer a qualidade das mesmas.

A proposta REST visa à propagação de estados representacionais pela rede onde recursos possuem endereçamento próprio, independente do tipo de processamento que podem sofrer. Esta forma de concepção de uma interface para acesso uniforme (URI) permite que a comunicação seja padronizada em função dos métodos do protocolo universal utilizados por aplicações *web-based*, o protocolo HTTP.

Tabela 3 – Comparação entre as arquiteturas analisadas

	<b>SRM</b>	<b>SEAMLESS-IF</b>	<b>SEGHIDRO</b>	<b>AGROMET</b>
Orientação da Arquitetura	Serviços	Serviços	Recursos	Serviços
Estrutura para a concepção e disseminação do conhecimento	Ontologia	Ontologia	Recursos	Ontologia
Capacidade de adaptação	Manutenção das Ontologias	Manutenção das Ontologias	Manutenção dos Recursos	Manutenção das Ontologias
Dependência de outros aplicativos para criação da estrutura descritora	Sim	Sim	Não	Sim
Protocolo para manipulação dos componentes gerenciados	SOAP	SOAP	REST-HTTP	SOAP
Tipos usados para descrição e transferência dos recursos publicados	XML	XML	Tipos MIME	XML

A Tabela 3 permite que dois pontos principais sejam observados. O primeiro versa sobre a forma com a qual os recursos são concebidos. A segunda se concentra na preocupação sobre a forma como os recursos são trocados entre unidades modulares diferentes. A representação baseada em ontologias por um lado

oferece um formato fidedigno de representação do domínio, mas por outro lado tem o inconveniente de ter que se criar um novo arquivo descritor no servidor para deixá-lo disponível às novas requisições da camada cliente. Esta forma de concepção do recurso é vista como uma manifestação estaticamente estruturada (WELICKI, LOVELLE, AGUILAR, 2006), onde uma vez que a ontologia seja criada, assume uma forma definitiva até que o seu arquivo sofra nova atualização.

WELICKI; LOVELLE & AGUILAR (2006) apresentam alternativa para a referida estruturação conceitual estática ao estabelecer os relacionamentos existentes entre os conceitos sem a necessidade de qualquer tipo de coordenação ou projeto dos conceitos em alto nível, através do uso de uma linguagem de meta-especificação de entidades, ou linguagem de domínio específico *modularmente combinável*, uma DSL (*Domain Specific Language*).

Esta solução com o uso de DSL, por exemplo, exclui a necessidade de organização estática das ontologias sob a forma de um arquivo físico e elimina a demanda pelo uso de ferramentas especificamente criadas para a construção de arquivos OWL. Além disso, é inserida a possibilidade do estabelecimento e modificação dos relacionamentos conceituais em tempo de execução (WELICKI, LOVELLE, AGUILAR, 2006).

No decorrer do capítulo 3 é apresentado o processo que envolve o monitoramento da mudança de uso e cobertura do solo e simulação para avaliação dos impactos ambientais decorrentes da expansão agrícola deflagrada. No capítulo 4 é apresentada a proposta de arquitetura baseada em um estilo de Modelos de Objetos Adaptáveis (AOM) apoiada em serviços *web* que visa agregar dinâmica à construção dos conceitos e relacionamentos envolvidos na concepção dos *workflows* de monitoramento do uso e cobertura do solo e dos modelos matemáticos aplicados em simulações ambientais, em tempo de execução.

O processo descrito ao longo do capítulo 3 oferece a oportunidade de caracterização dos produtos gerados ao longo da sua ocorrência e que são alvos de registro pelo mecanismo de proveniência do tipo retrospectiva (subitem 2.4.6) através do uso da arquitetura descrita no capítulo 4.

### **3. Processo de monitoramento da mudança de uso do solo e avaliação da expansão agrícola**

As respostas espectrais capturadas pelo MODIS permitem mapear alterações em ambientes como, por exemplo, identificar áreas com maior atividade fotossintética que outras áreas sob diferentes padrões de temperatura, áreas desmatadas, conservadas ou preservadas. Todavia, a extração de dados capturados sobre as mudanças na biosfera, prescinde do conhecimento da área em estudo, de ferramentas computacionais que permitam tal análise, além de algoritmos classificadores das imagens, reduzindo o tempo de avaliação dos impactos ao acelerar o fornecimento da informação.

Neste capítulo é apresentado o processo de monitoramento da mudança de uso do solo e avaliação da expansão agrícola. No decorrer da descrição deste processo são destacados os produtos gerados a partir da sua ocorrência. A obtenção destes produtos tem por objetivo reunir informações necessárias ao desenvolvimento equilibrado e sustentável em âmbito social, econômico e ambiental de uma determinada região, como é o caso da BAT.

#### **3.1. Monitoramento da Mudança de Uso e Cobertura do Solo**

A metodologia proposta por JONATHAN (2005) parte da obtenção de uma classificação de treinamento confiável para o uso do solo, a fim de gerar uma classificação supervisionada por regiões. Trata-se de um conjunto de programas criado com o objetivo de fornecer uma série de ferramentas que permitem a fácil manipulação e processamento de dados de sensoriamento remoto provenientes do MODIS. O processo foi desenvolvido em duas grandes fases, a etapa de pré-processamento e a etapa de classificação das regiões.

JONATHAN (2005) trabalhou na criação de ferramentas capazes de promover uma etapa de classificação com os resultados gerados visualizados e manipulados em programas comerciais como ArcGIS e ENVI. A metodologia de classificação, proposta por JONATHAN e que viabiliza processamento das imagens

MODIS, tem como resultado um mapa temático de uso e cobertura da terra, servindo como plano de informação para a geração de novos mapas (TEIXEIRA, 2009). Esta metodologia pode ser apresentada em linhas gerais na Figura 19.

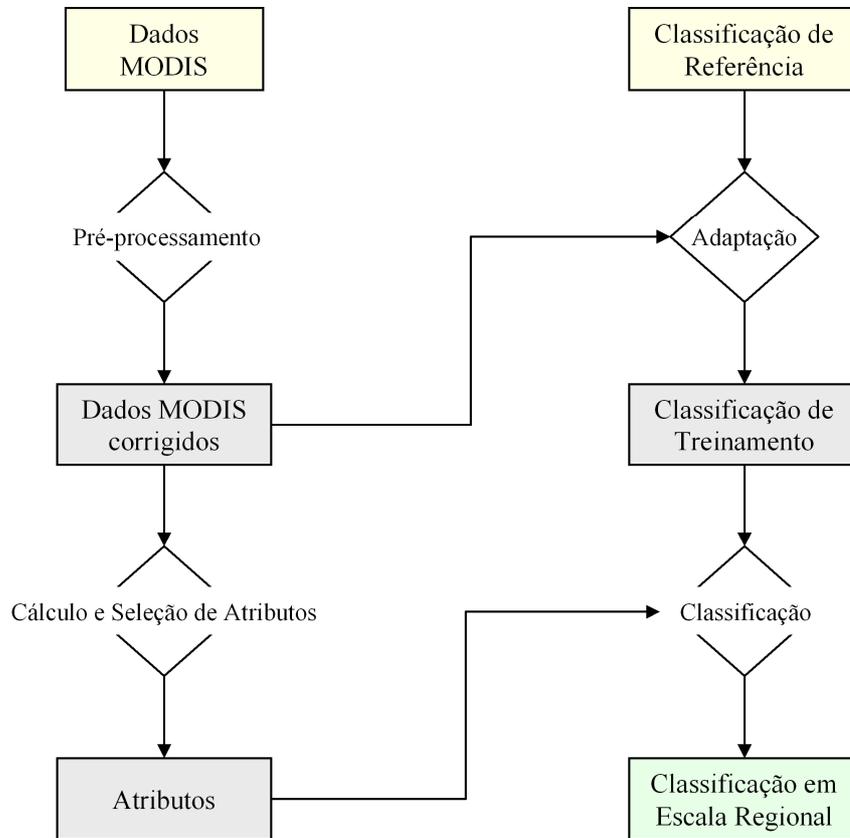


Figura 19 - Metodologia de classificação a partir de seqüências temporais de dados MODIS

Fonte: JONATHAN, 2005.

Os dados usados como classificação original de entrada, ou de referência de uso e cobertura, são provenientes de abordagens de levantamentos que vão desde viagens ao campo à obtenção de imagens de alta resolução, acarretando na possível perda do nível de detalhamento (JONATHAN, 2005). Esta questão, porém pode ser melhorada com a realização de uma análise de forma a determinar quais das classes originais possuem facilidade em sua discriminação para a análise dos perfis.

### 3.1.1. Etapa 1 – Pré-processamento de dados MODIS

Com a fase conhecida como pré-processamento de dados MODIS, JONATHAN (2005) aplicou recorte/mosaicagem, reprojeção e conversão dos dados. A primeira abordagem visa delimitar os dados da região de interesse, agregando ou excluindo *pixels* de acordo com a área de estudo. A segunda, por sua vez, transforma os dados da projeção sinusoidal de origem (Figura 20) para outra projeção compatível com os dados da classificação original de entrada e em conformidade com o DATUM equivalente ao Sistema Geodésico Mundial (WGS84<sup>25</sup>), através da configuração do arquivo de extensão PRM utilizado pelo aplicativo *resample.exe* (USGS, 2004).

Para a escolha da região de interesse é preciso apontar o conjunto de *tiles* com os quais se deseja trabalhar. Os *tiles* correspondem às áreas quadriculares espalhadas pela Terra, num total de 17 linhas e 35 colunas distribuídas uniformemente (Figura 20).

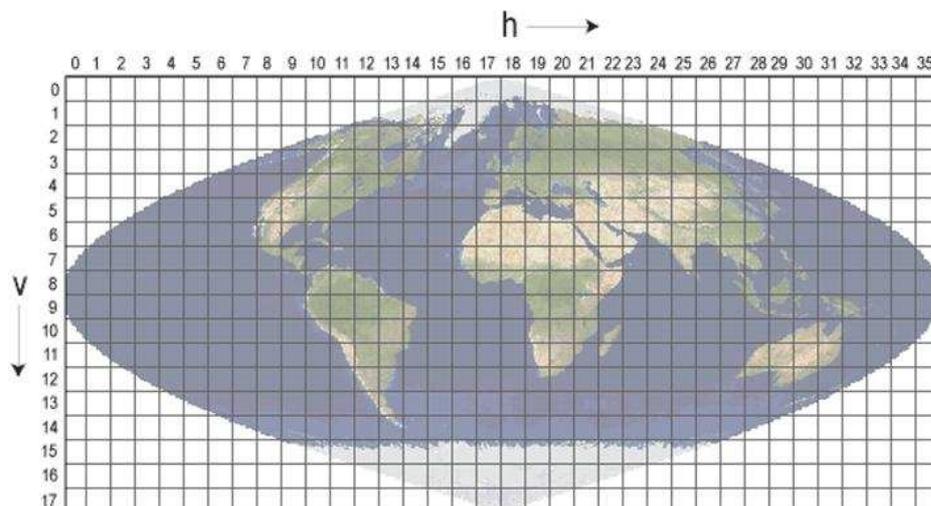


Figura 20 - Projeção sinusoidal, apresentada com divisões em grandes ladrilhos ou tiles.

Fonte: TEIXEIRA, 2009

<sup>25</sup> O WGS84 é o Sistema Geodésico Mundial desenvolvido pelo Departamento da Defesa dos Estados Unidos da América, atualmente utilizado pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS). No desenvolvimento do WGS84 utilizaram-se como base os parâmetros do sistema geodésico de referência de 1980 (constituído por um elipsóide de referência global e um modelo de gravidade). A última revisão do WGS84 foi efetuada em 2004, a qual será válida até aproximadamente 2010. A origem das coordenadas deste sistema geodésico é o centro da Terra, pensando-se que o erro é inferior a 2cm. O sistema geodésico WGS84 veio substituir o WGS72, o qual tinha substituído o WGS66,

Ainda na fase de pré-processamento de dados MODIS, levam-se em consideração as medidas do grau da qualidade de cada pixel das imagens, descritas nos seus metadados, pertencentes à seqüência temporal em questão. Assim, seus dados de baixa confiabilidade são filtrados, ignorados e substituídos através de interpolação linear no tempo (Figura 21), minimizando ruídos e interferências devido aos efeitos atmosféricos, falhas de sensor ou outra origem qualquer (JONATHAN, 2005).

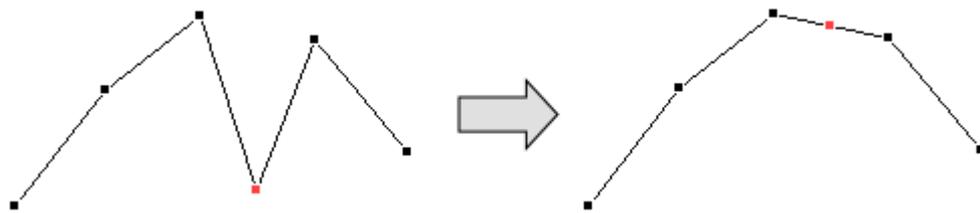


Figura 21 - Utilização de interpolação linear no domínio temporal para a obtenção de perfis temporais mais suaves e consistentes através da substituição de pixels de baixa qualidade.

Fonte: JONATHAN, 2005.

### 3.1.2. Etapa 2 - Análise de perfis temporais NDVI

Apesar de já apresentarem um bom nível de qualidade após a etapa supracitada de pré-processamento dos dados MODIS, os dados temporais computados ainda correspondem, neste ponto, a uma informação de características impróprias para um processo automatizado de classificação. Surge com isso a necessidade de obtenção de mais um novo recurso computacional, apresentado como uma etapa de Análise de perfis temporais NDVI.

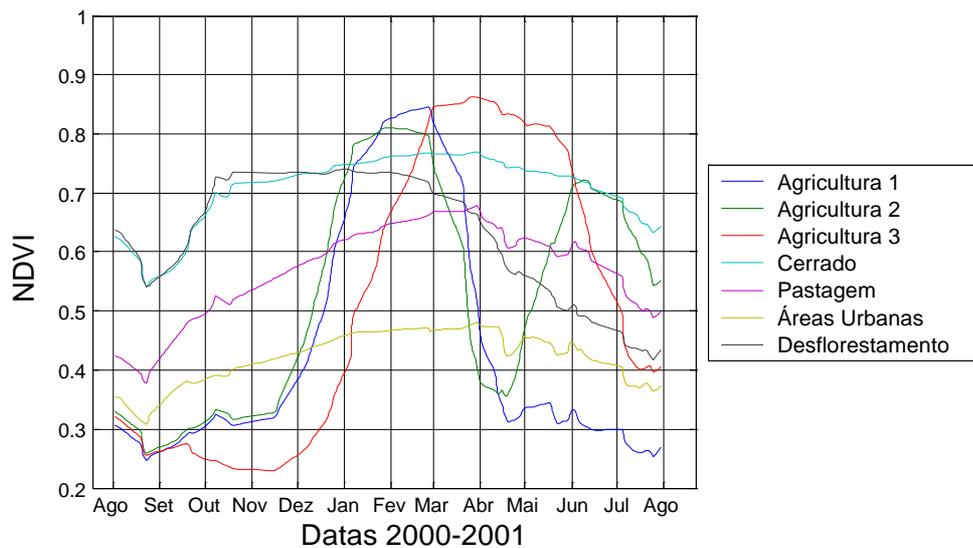


Figura 22 - Perfis temporais de NDVI das 7 classes consideradas discrimináveis a partir de dados temporais MODIS com 250m de resolução espacial.

Fonte: JONATHAN, 2005

### 3.1.3. Etapa 3 – Cálculo e Seleção de atributos

Uma vez computadas todas as métricas descritivas dos perfis temporais, é efetuado a seleção de atributos, com o intuito de analisar o conjunto de informações coletadas e selecionar um subconjunto conciso de atributos de modo a maximizar o poder de discriminação entre as classes de interesse (JONATHAN, 2005). As análises realizadas nesta etapa são todas efetuadas com base num procedimento de amostragem aleatória de pontos, selecionando-se para avaliação um total de 500 amostras por classe a partir dos dados de treinamento (JONATHAN, 2005).

### 3.1.4. Etapa 4 - Adaptação da classificação de referência

Com o intuito de gerar dados de treinamento acerca do uso e cobertura do solo, com vistas ao uso posterior do algoritmo de classificação a partir dos dados MODIS, a fase conhecida como *Adaptação da classificação de referência para dados MODIS* (JONATHAN, 2005) concentra-se na seleção de classes discerníveis,

baseando-se no uso dos chamados pixels puros<sup>26</sup> para a geração da classificação de treinamento, descartando a possibilidade de ocorrências em áreas de superfícies menores do que a de um pixel MODIS, com a conhecida resolução espacial de 250m.

Com a identificação de possíveis subclasses existentes no interior de cada classe original, é possível citar as situações onde diversas coberturas distintas do solo para diferentes cultivos agrícolas podem ser agrupadas/clusterizadas (*merge*) numa única classe de referência para agricultura, bem como o estabelecimento de subdivisões das classes originais (*splitting*).

### 3.1.5. Etapa 5 – Classificação

O processo de classificação está baseado no agrupamento de elementos, a partir de algum critério bem definido. Uma vez definidas as classes de interesse, tais como a classe pastagem, a classe que representa a cultura de cana de açúcar etc., suas características são atribuídas aos pixels, revelando sua disposição no sistema, e os transformando em informação, possibilitando dessa maneira a definição de padrões espaciais de distribuição.

Para tanto, parte-se de uma análise estatística dentro de um espaço de atributos, no qual não se considera a posição espacial o pixel, mas sim a alocação do respectivo pixel a uma determinada classe, predominantemente com base no valor do mesmo.

Em seu trabalho, JONATHAN (2005) atuou sob a perspectiva das classificações supervisionadas, onde amostras de identidade conhecida foram utilizadas para classificar *pixels* de identidade desconhecida. De fato, a aplicação da metodologia demonstrou ser possível realizar um levantamento bastante acurado da região a partir de um treinamento adequado.

Ainda assim, JONATHAN et. al (2007) aponta um certo nível de dificuldade na discriminação entre classes específicas de uso e cobertura do solo, notadamente entre áreas de pastagem e cerrado, dado o fato de que não há diferenças notáveis

---

<sup>26</sup> *Pixels* inteiramente cobertos por uma única classe de uso e cobertura do solo.

em termos da forma do perfil temporal típico destas classes (JONATHAN et. al, 2007).

Para contornar a situação descrita, JONATHAN et. al, (2007) descreve um Diagrama de Transição de Estados (STD) para codificar o conhecimento da dinâmica de monitoramento do uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Assim, a partir de uma classificação inicial num tempo zero, este diagrama tornaria possível aproveitar toda a informação acerca do histórico de uso e cobertura do solo em cada ponto, de forma a guiar e facilitar um processo subsequente de monitoramento contínuo ao longo dos anos.

Neste STD, cada estado está sempre associado a alguma das classes de uso e cobertura do solo, mapeadas na região. Além disso, para cada estado o diagrama deve determinar o estado resultante com base na observação de um perfil temporal de um ano, como é mostrado na Figura 23.

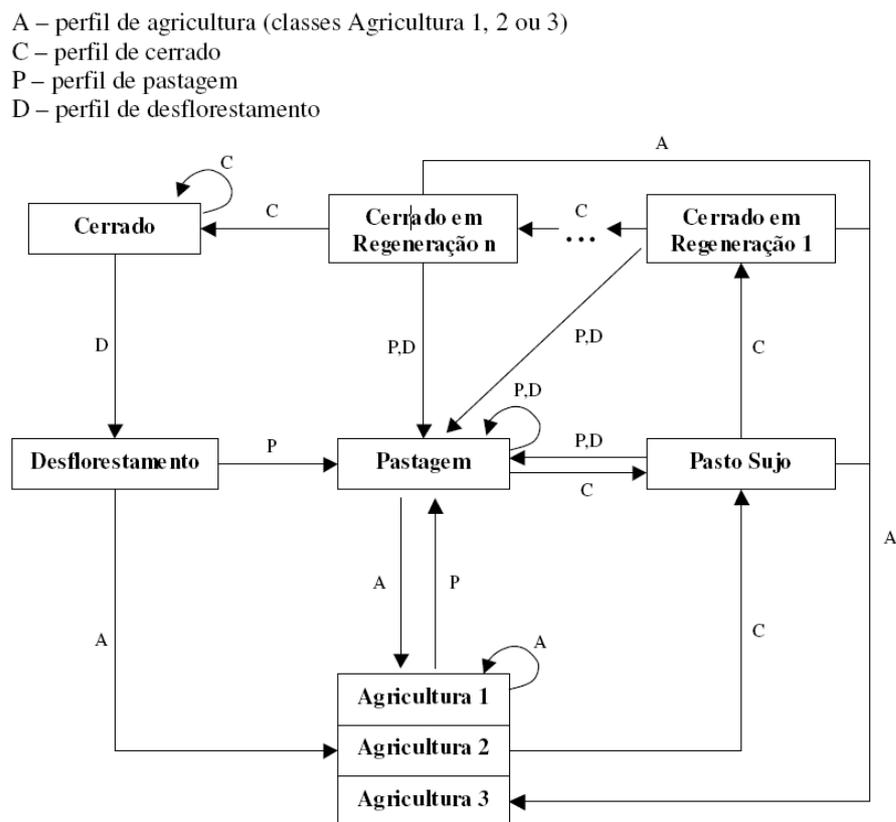


Figura 23- Diagrama de transição de estados proposto. Cada estado explicita uma classe de uso e cobertura do solo e um contexto temporal, sendo que a transição entre estados é definida através da discriminação do tipo de perfil temporal observado no ponto em questão durante o ano subsequente.

Os tipos possíveis de perfil temporal são A (agricultura 1, 2 ou 3), P (pastagem), C (cerrado) e D (desflorestamento).

Na prática, o STD corresponde primeiramente a um conjunto de estados, os quais representam as diferentes etapas que podem ocorrer no processo de evolução do uso e cobertura do solo num ponto qualquer da região em estudo (JONATHAN et. al, 2007). Além disso, para cada estado estão definidas também as suas diferentes transições possíveis, estabelecendo-se assim os tipos de mudança de uso e cobertura do solo que podem ser reconhecidas com base no histórico ou contexto temporal de cada ponto.

### 3.2. Breve descrição do Processamento aplicado aos Dados

Os aplicativos desenvolvidos por JONATHAN (2005) seguem uma seqüência de execução lógica através de *scripts SHELL SCRIPT* para coordenação do funcionamento da cadeia de monitoramento. Basicamente o trabalho é iniciado a partir da configuração do ambiente de trabalho com o uso de algumas bibliotecas como pré-requisitos para funcionamento da cadeia. Este conjunto de bibliotecas e utilitários é descrito na seção seguinte.

O conjunto de programas executáveis criados por JONATHAN (2005) foi escrito em linguagem ANSI C objetivando seu uso em diversos sistemas operacionais, tais como *Linux* e *Windows*, com os dois em suas mais variadas versões de distribuição.

O referido conjunto de programas inclui tanto aplicações específicas, com aplicabilidade nas etapas metodológicas, quanto utilitários de uso genérico dentro do contexto do processamento de imagens. O tratamento de dados de satélite no formato INRIMAGE (INRIA, 1998) se faz necessário.

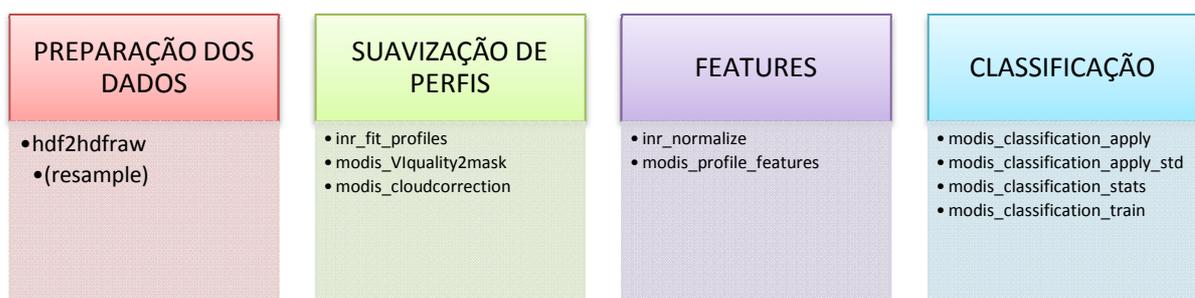




Figura 24 – Categorias dos aplicativos da cadeia de monitoramento

As principais etapas do processo desenvolvido utilizando recursos da plataforma de processamento, ou cadeia de monitoramento, estão identificadas na Figura 24.

O processamento se inicia com o estabelecimento dos parâmetros das imagens que foram usadas. O *mosaic* é uma ferramenta do MRT (*Modis Reprojection Tool*<sup>27</sup>) exclusiva para efetuar a mosaicagem das imagens. Esta etapa pressupõe a união dos *tiles* das imagens MODIS. O *resample* permitiu a execução de um recorte espacial e seleção de bandas – de acordo com as especificações do arquivo PRM - que visa à redução da área de trabalho e conseqüentemente de dados manipulados, a fim de facilitar o processamento. A Tabela 4 exemplifica o formato de um arquivo PRM<sup>28</sup> utilizado neste projeto, onde são identificadas as características dos arquivos de saída no tocante aos aspectos espaciais e espectrais.

<sup>27</sup> Pode ser encontrado para download gratuito em [https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis\\_reprojection\\_tool](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool)

<sup>28</sup> As anotações estão em no modelo reconhecido pelo programa.

INPUT\_FILENAME – Nome do arquivo de entrada

SPECTRAL SUBSET – Recorte Espectral

SPATIAL\_SUBSET\_TYPE – Coordenadas

SPATIAL\_SUBSET\_UL\_CORNER – Coordenadas do canto acima, à esquerda.

SPATIAL\_SUBSET\_LR\_CORNER – Coordenadas do canto abaixo, à direita.

OUTPUT\_FILENAME – Nome do arquivo de saída

OUTPUT\_PROJECTION\_TYPE – Projeção de saída

DATUM – Datum de saída

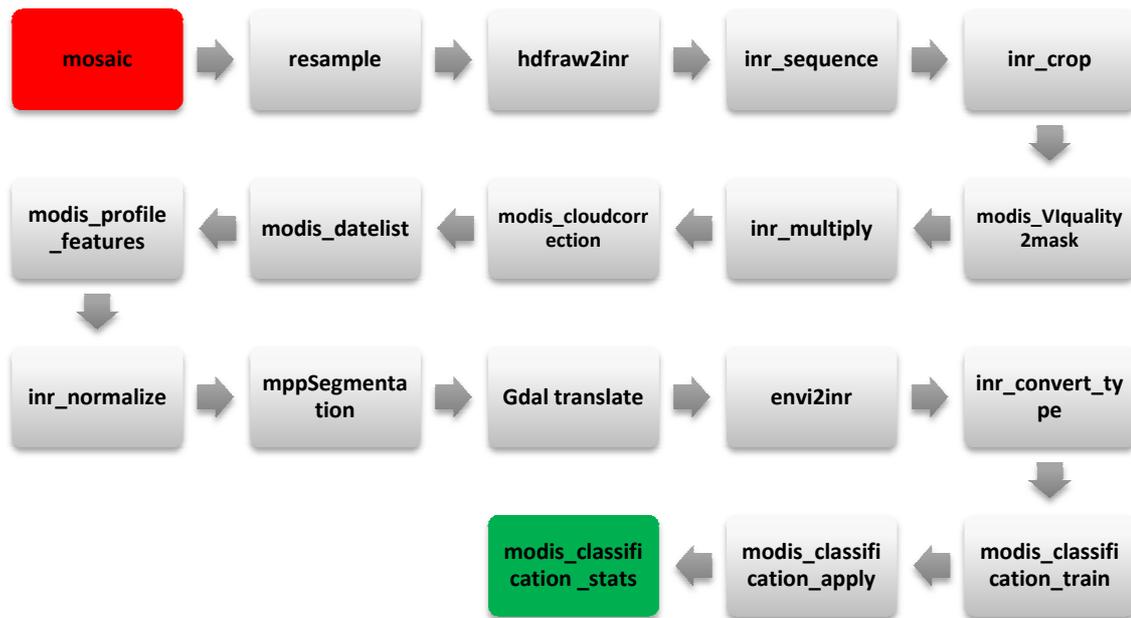


Figura 25 – Programas extraídos a partir da Plataforma  
Fonte: TEIXEIRA, 2009

Na etapa seguinte é feita a conversão dos arquivos gerados em formato HDF para o formato INR (*hdfraw2inr*), padrão dos programas da metodologia de JONATHAN (2005), e com a formação da seqüência temporal (*inr\_sequence*).

Tabela 4 – Exemplo da composição do arquivo PRM  
Fonte: TEIXEIRA, 2009

Tipo de Informação	Característica da Informação
INPUT_FILENAME	*.*
SPECTRAL SUBSET	(1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 )
SPATIAL_SUBSET_TYPE	INPUT_LAT_LONG
SPATIAL_SUBSET_UL_CORNER	(-16 -52)
SPATIAL_SUBSET_LR_CORNER	(-19 -50)
OUTPUT_FILENAME	*.HDR
OUTPUT_PROJECTION_TYPE	GEO
DATUM	WGS84

Em seguida os dados são adaptados à região de interesse (*Region of Interest - ROI*) (*inr\_crop*). Entretanto, esta etapa pressupõe outra etapa que pode ser executada fora da cadeia, que é a geração da máscara da região de interesse. No

presente estudo, ela foi executada através do ENVI, cujo produto foi convertido para INR (*envi2inr*). Este arquivo foi o referencial da área de treinamento, onde pixels com valor “1” caracterizam aqueles que devem ser classificados e pixels com valor “0”, os dados que não devem ser classificados. Quaisquer arquivos gerados posteriormente devem ter os limites coincidentes com os limites estabelecidos para este ROI, além do mesmo número de linhas e colunas. Caso estes parâmetros não correspondam, os programas não são executados.

A etapa seguinte consistiu na geração das máscaras de qualidade (*modis\_VIquality* e *modis\_cloudcorrection*) que influenciarão diretamente na geração dos perfis dos pixels da seqüência da temporal (*modis\_profile\_features*) e na geração da segmentação (*mpp\_segmentation*). A última etapa correspondeu ao treinamento (*modis\_classification\_train*) e à aplicação (*modis\_classification\_apply*) da classificação.

### **3.3. Instrumentos e opções de política**

Há dois casos de política possíveis para escolher no protótipo SIAT-TTC (álcool etílico de cana de açúcar e reflorestamento). Os possíveis ajustes de política disponíveis aos usuários finais para simular cenários no exemplo da política do álcool etílico da cana de açúcar derivam-se da combinação de dois grupos de opções relativas ao instrumento da política de Zoneamento Agroecológico:

a. Limitações espaciais do Zoneamento Agroecológico:

1. Sem limitação

2. Limitação no Zoneamento Agroecológico

3. Zoneamento Agroecológico e exclusão do plantio de Etanol na bacia do Alto Paraguai

b. Restrições no uso prévio da terra

1. Qualquer uso prévio;

2. Apenas pastagens;

3. Pastagem e Agricultura Permitidas.

### **3.3.1. Estratégias para opções políticas**

As limitações espaciais apresentadas no parágrafo anterior estão relacionadas ao zoneamento agro ecológico da cana de açúcar apresentados no começo de 2009. Este zoneamento como um instrumento de política pública, deverá direcionar a política de financiamento do plantio de álcool etanol do Governo Brasileiro.

Uma restrição de zoneamento, além da aptidão agro ecológica estabelecida por condições do clima e do solo, está associada à colheita da cana de açúcar cultivada somente nas áreas apropriadas à mecanização, o que poderia eliminar a queimada de pré-colheita do processo manual. Esta atividade tem um impacto social pesado, devido ao duro trabalho sazonal da colheita manual da cana de açúcar, além do fumo prejudicial dos milhões de hectares afetados na produção de cana de açúcar e emissão de gases proporcionando o efeito estufa.

A proibição do plantio de cana de açúcar na região da bacia do Alto Paraguai foi uma decisão importante nos anos 90 para evitar o rápido crescimento da agricultura em direção à região do Pantanal, um ecossistema frágil e alagadiço.

A respeito do uso de uma variável de política que afete a reivindicação pelo uso da terra para cultivo de cana de açúcar, no SIAT-TTC, o total de demanda por plantio de cana de açúcar cresce baseado nos alvos de expansão derivados dos planos do Governo Brasileiro de investimento no setor de álcool etanol. O instrumento de política chamado Suporte à Expansão expressa o nível de suporte financeiro para o plantio de cana de açúcar para álcool etanol que afeta o total da demanda por uso da terra para plantio da cana de açúcar.

### **3.3.2. Processo de simulação**

A simulação das opções políticas refere-se ao ano de 2018, condicionada pelos objetivos e projeções do governo à expansão do setor do álcool etanol aplicáveis a este mesmo período.

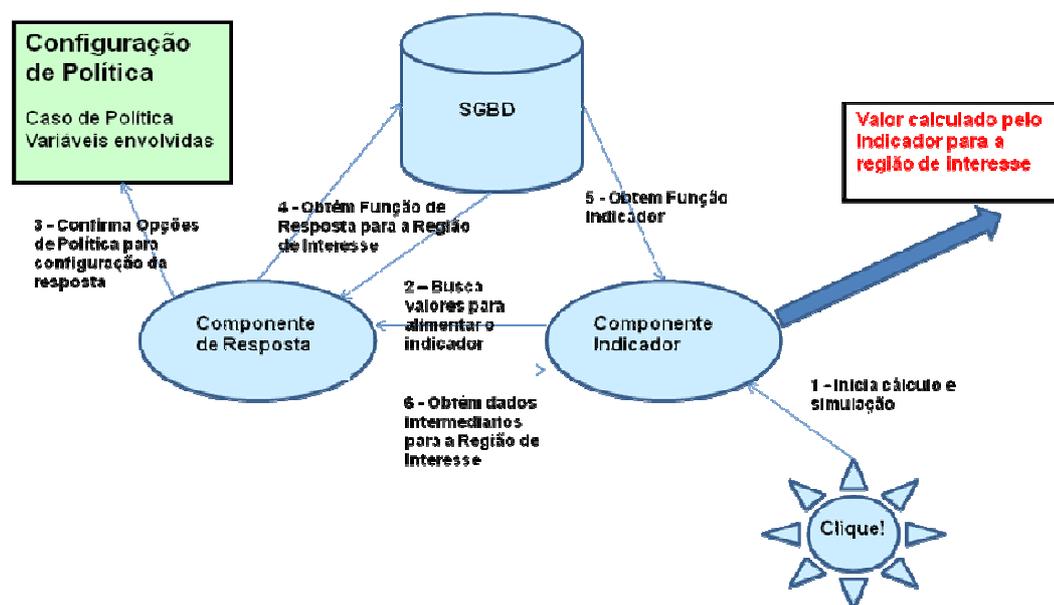


Figura 26 – Diagrama do mecanismo de simulação do SIAT usando OpenMI.  
Fonte: SENSOR, 2008.

O processo de simulação para avaliação da sustentabilidade pelo usuário no SIAT inclui os seguintes passos:

1. O usuário escolhe o *cenário base* e o *caso de política* entre diversas opções listadas na tela. Para tornar possível o funcionamento do SIAT-TTC, é necessário em primeiro lugar estabelecer o relacionamento entre as *variáveis de política*, a mudança de uso da terra e o comportamento dos indicadores. Apenas após ter configurado estes relacionamentos os *cenários de simulação* tornam-se possíveis.

2. O usuário escolhe um *indicador* entre os diversos listados na tela e pressiona o botão para disparar o *processo de simulação*.

3. O *indicador* precisa de resultados intermediários para calcular as variáveis finais. Os resultados intermediários são obtidos a partir de *funções resposta*, diferentes para cada região, que correlacionam *variáveis políticas* com variáveis de mudança de uso da terra da região escolhida para simulação. As *funções resposta* das diversas regiões são previamente calculadas a partir de resultados obtidos das várias execuções do Dyna-CLUE / CLUE-s usando intervalos de valores para as *variáveis de política* abordadas para todas as possíveis

combinações das *opções políticas*. Uma vez obtidas, todas as *funções resposta* devem ser armazenadas em tabela no banco de dados.

4. Diante da identificação da *função resposta* que representa uma determinada combinação “região” x “indicador”, a simulação é configurada com um identificador de *cenário base* (*Baseline ID*), um identificador de *caso de política* (1 – Cana de Açúcar, 2 - Florestas) e os valores para as *variáveis de política* obtidas a partir da GUI, a fim de calcular os valores intermediários que serão alimentados nas *funções indicador* obtidas do banco de dados através opção feita pelo usuário.

### 3.4. Considerações Finais

Cabe aqui a observação de que um processo de monitoramento ocorre dentro dos preceitos do geoprocessamento e sensoriamento remoto, próprios do projeto ENVIAIR. Este processo é independente do uso da ferramenta SIAT (SENSOR).

Da mesma forma, a ferramenta SIAT não depende diretamente da cadeia de monitoramento para funcionar. Em outras palavras, as regras de conhecimento extraídas do processo de monitoramento de mudança do uso, próprio do projeto ENVIAIR, podem integrar a ferramenta SIAT ou não.

Portanto, este trabalho propõe, através da arquitetura apresentada, a aproximação de dois enfoques:

- Por um lado a questão do *monitoramento da mudança pretérita de uso da terra*, através do processamento de imagens de satélite MODIS, proveniente do projeto ENVIAIR;
- Por outro lado, a questão das *simulações de cenários futuros* voltados para a análise dos impactos na sustentabilidade ambiental, proveniente do projeto SENSOR.

O único acoplamento existente entre os dois enfoques assume um formato de *acoplamento comum* (JONES, 1988) com o compartilhamento das regras de conhecimento no sentido ENVIAIR – SENSOR, mas não no sentido contrário, ou seja, SENSOR – ENVIAIR.

Conforme mostrado resumidamente na Figura 27, o processo descrito neste capítulo pode ser apresentado através de oito passos, que são *pré-processamento de imagens MODIS, análise de perfis temporais, cálculo e seleção de atributos, adaptação da classificação de referência, classificação anual, análise de tendência de mudança de uso com limiares de sustentabilidade, alimentação da base de modelos e finalmente a simulação.*

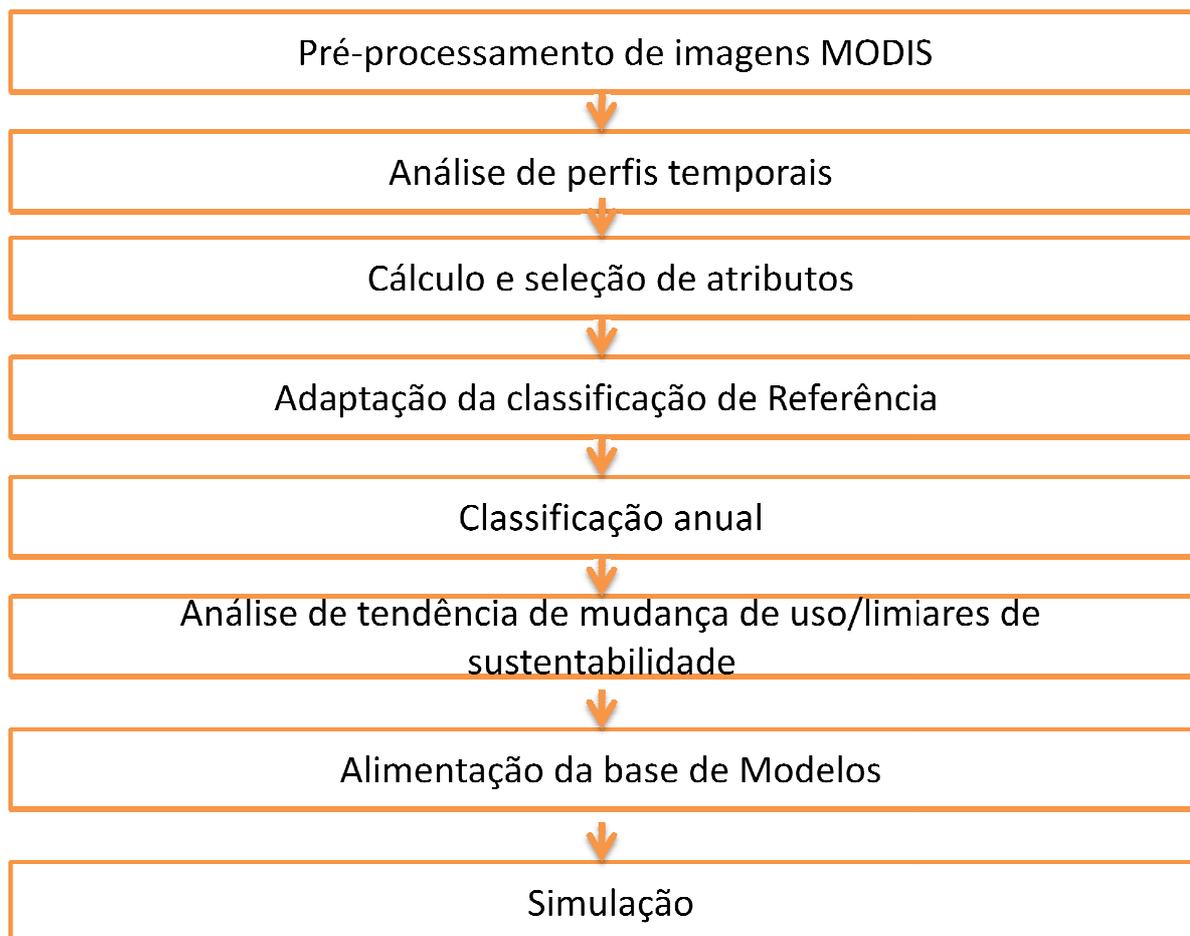


Figura 27 - Processo de monitoramento da mudança de uso do solo e avaliação da expansão agrícola.

O próximo capítulo apresenta uma proposta de arquitetura baseada em um estilo de Modelos de Objetos Adaptáveis (AOM) que visa agregar dinâmica à construção dos conceitos e relacionamentos envolvidos na concepção dos *workflows* de monitoramento do uso e cobertura do solo e dos modelos matemáticos aplicados em simulações ambientais, em tempo de execução.

Esta arquitetura alia o seu dinamismo à praticidade da descrição padronizada dos recursos envolvidos e acessados pelos métodos HTTP *GET*, *PUT*, *POST* e *DELETE* baseada no conceito de propagação de estados REST dos recursos endereçáveis, manifestada na camada de serviços, voltada para a gestão dos monitoramentos de mudança de uso e cobertura da terra e para a gestão de *workflows* científicos para representação, projeto, reutilização, registro e compartilhamento dos resultados dos monitoramentos realizados.

## **4. Arquitetura para auxiliar avaliações de impactos de mudança de uso e cobertura do solo baseadas em *workflow***

O presente capítulo apresenta uma arquitetura destinada tanto para o apoio ao processo de monitoramento sobre mudanças de uso e cobertura do solo quanto para avaliar os seus impactos através de tendências de avanço da fronteira agrícola. Esta abordagem parte da integração de informações geradas a partir do uso da cadeia de monitoramento (seção 3.2) e a conseqüente captura dos dados de proveniência da execução dos seus *workflows*.

Este trabalho propõe o uso de recursos endereçáveis a partir de uma Arquitetura Orientada a Recursos, objetivando a criação de interfaces padronizadas e escaláveis (seção 4.1.2) que facilitem não somente a integração entre o classificador automático de imagens de satélite MODIS 5 e a Ferramenta de Avaliação do Impacto na Sustentabilidade (SIAT-TTC), mas também a ocorrência de processos futuros de transferência de tecnologia para outros países (*transferability*), através de mecanismos de adaptabilidade e compartilhamento dos recursos.

No decorrer deste capítulo serão caracterizadas as camadas que integram a arquitetura (seção 4.1) bem como os componentes implementados ou reutilizados para atender à demanda de cada camada apresentada para a arquitetura proposta (seção 4.2).

### **4.1. Arquitetura Proposta**

O capítulo anterior se concentrou em detalhes sobre o processo de monitoramento da mudança de uso do solo e avaliação dos impactos pela expansão agrícola. Nesse processo, a meta principal de construção do conhecimento a partir de inferências baseadas na aplicação de modelos matemáticos extraídos de monitoramentos sucessivos acaba se comprometendo em função da preocupação com o gerenciamento dos seus produtos intermediários, tais como informações sobre as matrizes de confusão, mapas de classificação e recortes das imagens sobre as regiões de interesse para estudo. Este fato resulta em diminuição do

aproveitamento sobre os recursos da cadeia de monitoramento sobre dados MODIS, bem como na redução da qualidade de observação sobre os resultados obtidos.

Por entender que as etapas citadas capítulo 3 são alvos de um processamento geomático encadeado e que, pelo fato de possuírem granularidade grossa, podem ser caracterizadas como etapas componentes de um *workflow*, ou seja, conhecimento sobre a forma de fluxo de trabalho, obtido a partir dos dados e informações de origem, como é mostrado na Figura 28.



Figura 28 – Dados, Informação e Conhecimento envolvidos no processo de monitoramento e avaliação.

Para auxiliar o processo descrito nas seções 3.1, 3.2 e 3.3, desenvolveu-se um ambiente integrado sob a forma de um sistema de gerência de análises em seqüências temporais de dados MODIS apoiado em dois subsistemas: um *subsistema gerenciador de workflows* e outro *subsistema gerenciador de modelos e simulações*. A arquitetura que descreve este ambiente integrado é exibida na Figura 29 e descrita posteriormente.

Neste íterim, o processo de adaptação e programação da versão TTC para o Mercosul evidenciou o potencial de uso e possibilidades de melhoria na adaptabilidade da ferramenta para transferências futuras da tecnologia SIAT, bem como os conceitos envolvidos na ferramenta de avaliação de impacto e no processo de adequação técnica para características próprias às condições do Mercosul.

Esta arquitetura passou a oferecer também uma forma integrada para o gerenciamento das regras de conhecimento, extraídas a partir de execuções sucessivas de *workflows* da cadeia de monitoramento. Diante disso, as novas regras de conhecimento obtidas a partir do processo de monitoramento são transferidas dinamicamente para a ferramenta SIAT-TTC e passam a ser manipuladas como regras de conhecimento para avaliação da sustentabilidade ambiental, em simulações com modelos de mudança de uso e cobertura do solo, como mostra a Figura 29.

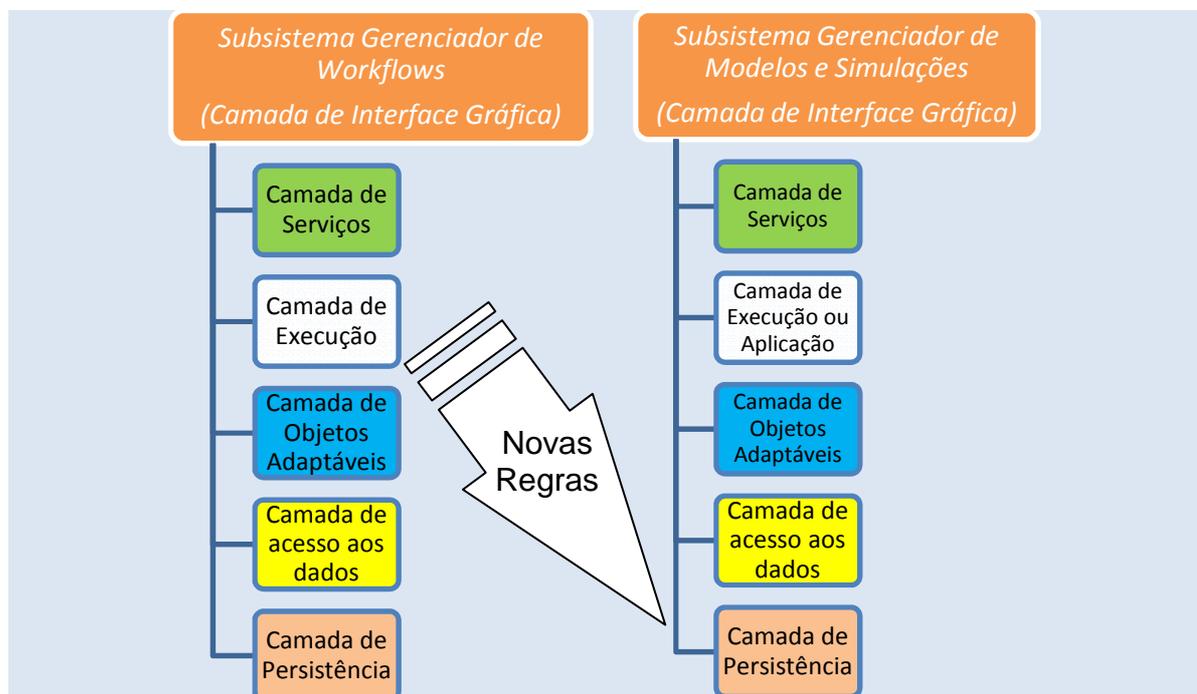


Figura 29 – Camadas lógicas da arquitetura proposta para auxiliar o monitoramento e avaliação da expansão agrícola.

A alocação física das camadas da arquitetura proposta pode ser analisada na Figura 30. O servidor *web* Tomcat 6.0 foi utilizado na implantação do *subsistema gerenciador de workflows*, projeto ENVIAR, para hospedagem de sua camada de interface gráfica (Figura 31), bem como suas camadas de serviços, de objetos adaptáveis (AOM) e de acesso aos dados (DAO).

O *subsistema gerenciador de modelos e simulações* encontra-se disponível em servidor *web* IIS 6.0 hospedando as camadas de interface gráfica (Figura 35), bem como suas camadas de serviços, de objetos adaptáveis (AOM) e de acesso aos dados (DAO).

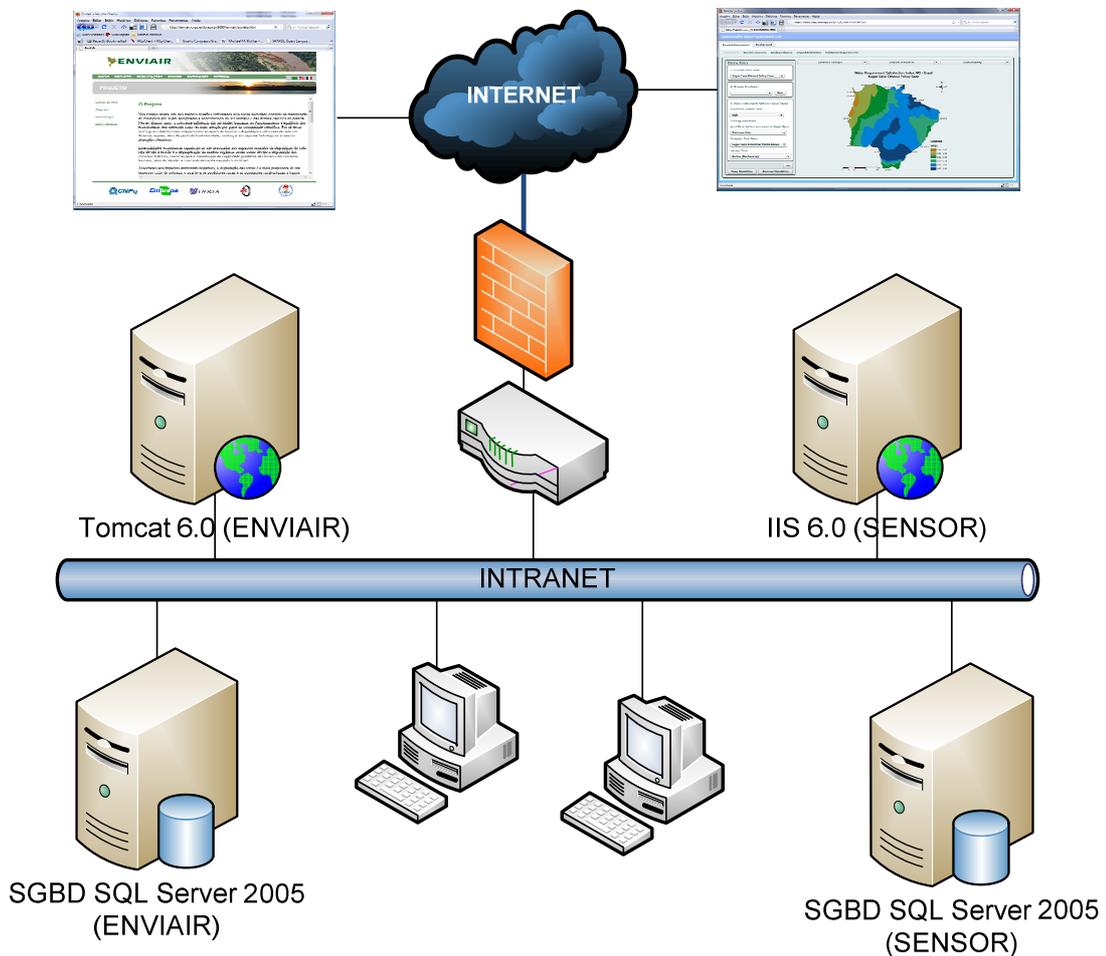


Figura 30 – Distribuição física das camadas da arquitetura

As camadas de persistência dos dois subsistemas ocorrem cada qual em um SGBD Microsoft SQL Server 2005, separados e responsáveis pelo armazenamento dos dados processados, os metadados para construção das estruturas intrínsecas e extrínsecas (seção 4.1.4) dos *workflows* (projeto ENVIAIR) e metadados dos modelos para simulação (projeto SENSOR), bem como os dados de proveniência obtidos a partir dos processamentos aplicados.

#### **4.1.1. Camada de Interface Gráfica**

Trata-se da camada responsável por disponibilizar os recursos visuais necessários para a construção personalizada de cadeias de monitoramento de séries temporais geoprocessadas. Esta camada é responsável por disponibilizar na tela do usuário os recursos computacionais próprios de uma cadeia de tratamento e classificação de imagens MODIS. Integram a camada de interface gráfica com o usuário as telas que permitem acesso ao *subsistema gerenciador de workflows* e ao *subsistema gerenciador de modelos e simulações*.

##### **4.1.1.1. Subsistema Gerenciador de *Workflows***

O *subsistema gerenciador de workflows* pode ser acessado através do site do projeto ENVIAIR na URL <http://enviair.cnps.embrapa.br:8080/enviair/projeto.htm>, como mostra a Figura 31, e serve como auxílio aos pesquisadores na definição, desenho, modelagem e reutilização de *workflows* necessários para se realizar as análises, bem como na calibração através dos resultados que possam ter sido aferidos anteriormente, dada a realização das análises propostas através da remodelagem dos *workflows* criados.



Figura 31 – Tela principal do site do projeto ENVI AIR

A Figura 32 mostra a tela de *login*, acessível através da URL <http://enviair.cnps.embrapa.br:8080/enviair/login.htm> que permite acesso ao Subsistema Gerenciador de *Workflows*.

Através de eventos correlacionados ao uso da biblioteca *JGraph* (seção 4.2.1), descreve-se a maneira como um *workflow* deverá se comportar após o desenho realizado com o formato de grafo. Todo e qualquer desenho conceitual realizado para descrever o *workflow* desejado é passível de persistência para uso futuro. Os metadados acerca da descrição sobre a composição do *workflow* são gravados no SGBD SQL *Server Express Edition* (Anexo D).

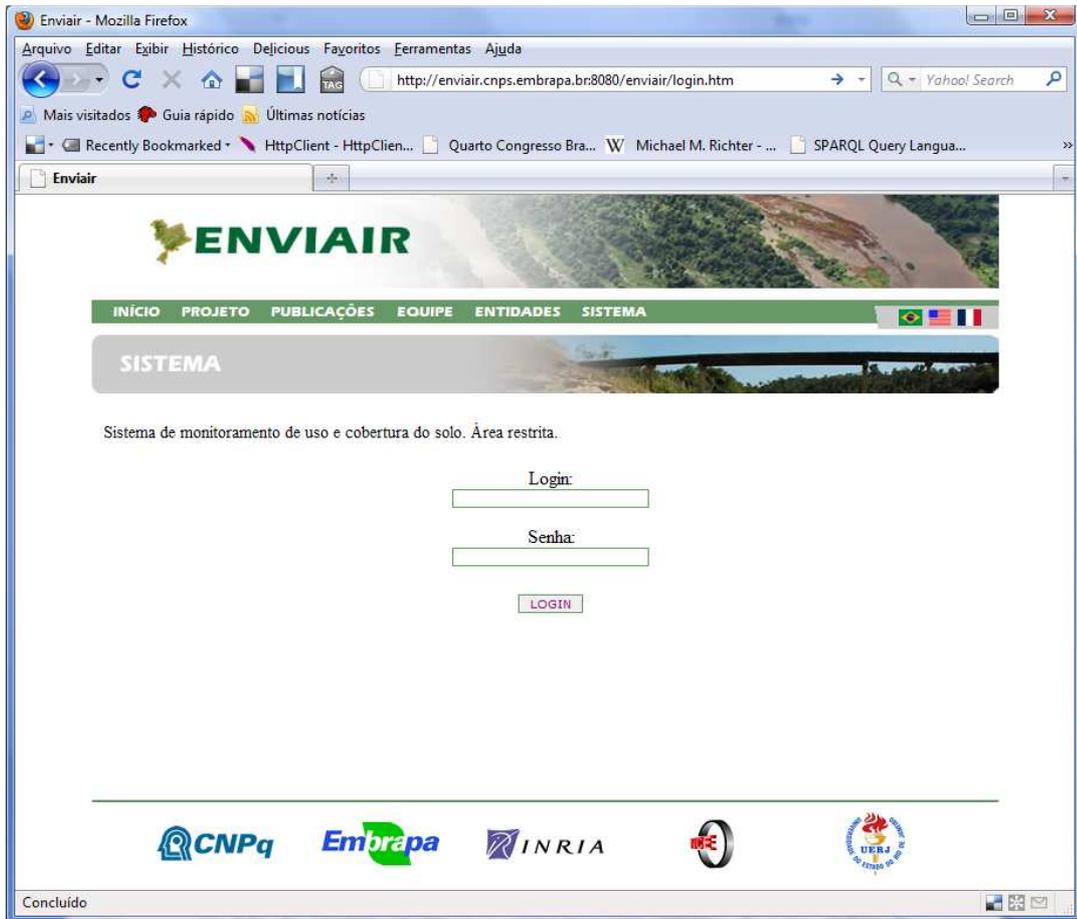


Figura 32 – Tela de *login* para acesso ao Sistema de Monitoramento de Uso e Cobertura do Solo

A interface gráfica que permite acesso ao desenho e à especificação dos *workflows*, bem como sua reutilização e execução foi implementada com o uso da tecnologia Applet Java, SUN *Microsystems*, com o apelo da necessidade de uma ferramenta portátil para vários ambientes de utilização, independente de plataforma ou sistema operacional (Figura 33).

A comunicação com o servidor se faz através da camada de serviços apresentada no subitem 4.1.2, implementada sob a perspectiva de uma Arquitetura Orientada a Recursos (ROA) com serviços *web* destinados à transferência de estados representacionais, tanto das características que compõem a descrição do *workflow* desenhado, quanto dos artefatos gerados ao longo da execução efetiva do *workflow* desejado.

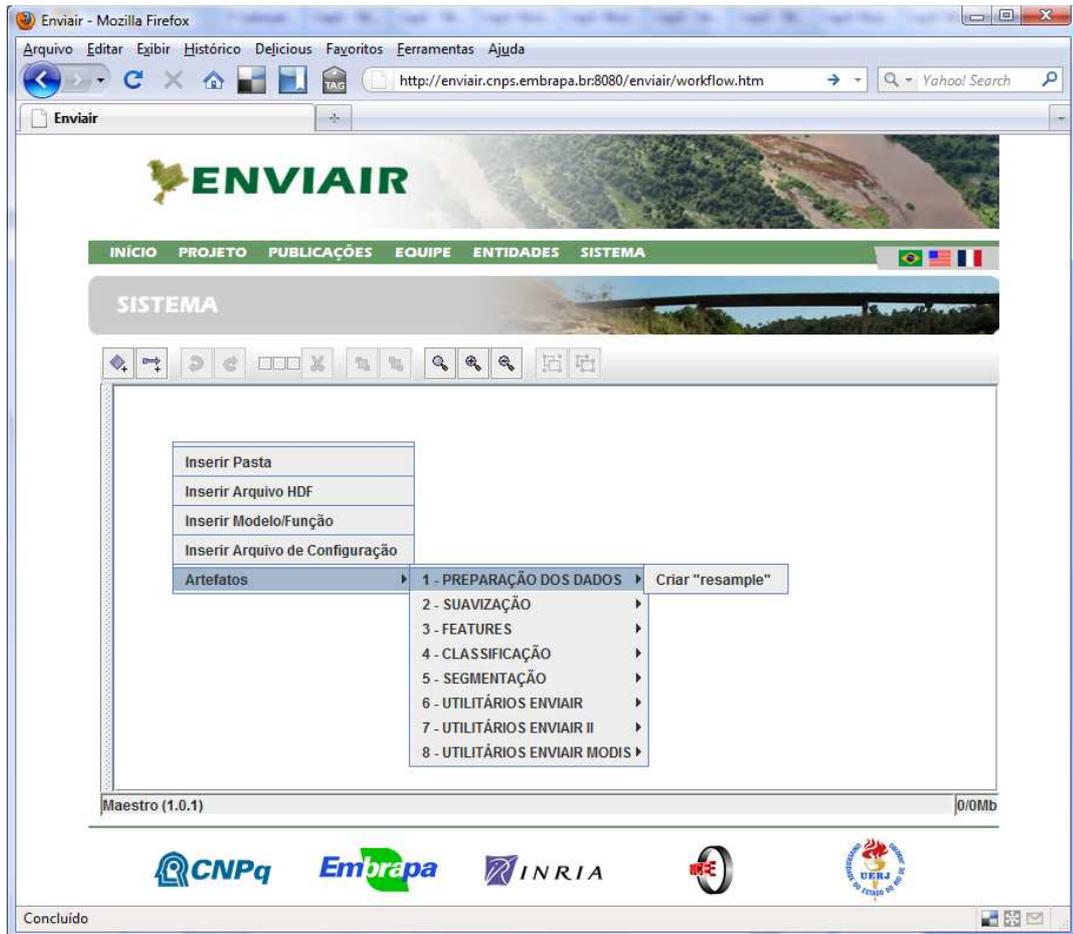


Figura 33 – Opções de tarefas da cadeia de monitoramento disponíveis para a criação de um *workflow*.

A Figura 34 mostra a tela com a construção de uma seqüência de treinamento dos algoritmos para identificação de padrões espectrais que representam possíveis classificações em imagens MODIS, aplicação desses algoritmos e a coleta das estatísticas como resultado geral do monitoramento.

Um menu *pop-up* oferece as opções de processamento de acordo com as categorias de aplicativos disponíveis, tais como preparação dos dados, suavização dos perfis, classificação das imagens, segmentação das imagens e outros utilitários envolvidos na cadeia de monitoramento. Todas essas categorias representam grupos de aplicativos que são utilizados nas etapas descritas na seção 3.1.

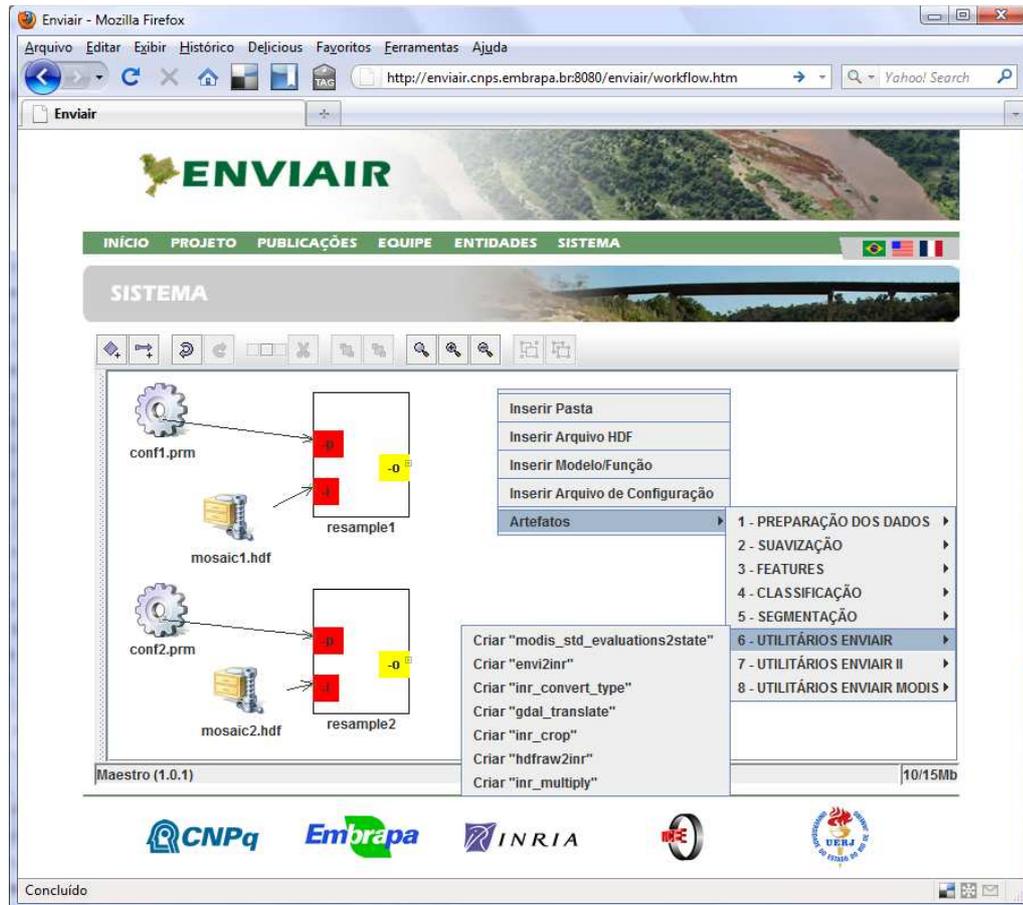


Figura 34 - Construção de uma seqüência de execução

#### 4.1.1.2. Subsistema Gerenciador de Modelos e Simulações

O uso da Ferramenta de Avaliação do Impacto à Sustentabilidade (SIAT-TTC), disponível em [http://siatttc.cnps.embrapa.br/SIAT\\_FLASH/MAIN.HTML#](http://siatttc.cnps.embrapa.br/SIAT_FLASH/MAIN.HTML#), inicia com a escolha da política a ser avaliada pelo usuário final. A escolha pelo caso de política é o primeiro passo do procedimento de definição da política pelo usuário final, tal como foi enfatizado na seção 3.3.2. Como uma ferramenta orientada ao usuário, a GUI do *subsistema gerenciador de modelos e simulações* é projetada para permitir que o usuário compreenda e que manipule um grupo definido de direcionadores (*drivers*), isto é, o conjunto de *instrumentos de política avaliados pelo sistema de simulação de cenários* do SIAT-TTC.

Há dois casos de política possíveis a escolher no protótipo SIAT-TTC, álcool etílico de cana de açúcar e reflorestamento, como mostra a Figura 35. Esta seção

mostra as telas capturas da GUI e descreve como representa o exemplo de “política de açúcar de açúcar” escolhido para a simulação das encenações nesta primeira versão do SIAT-TTC e na maneira pela qual o usuário interage com a aplicação para selecionar opções da política.

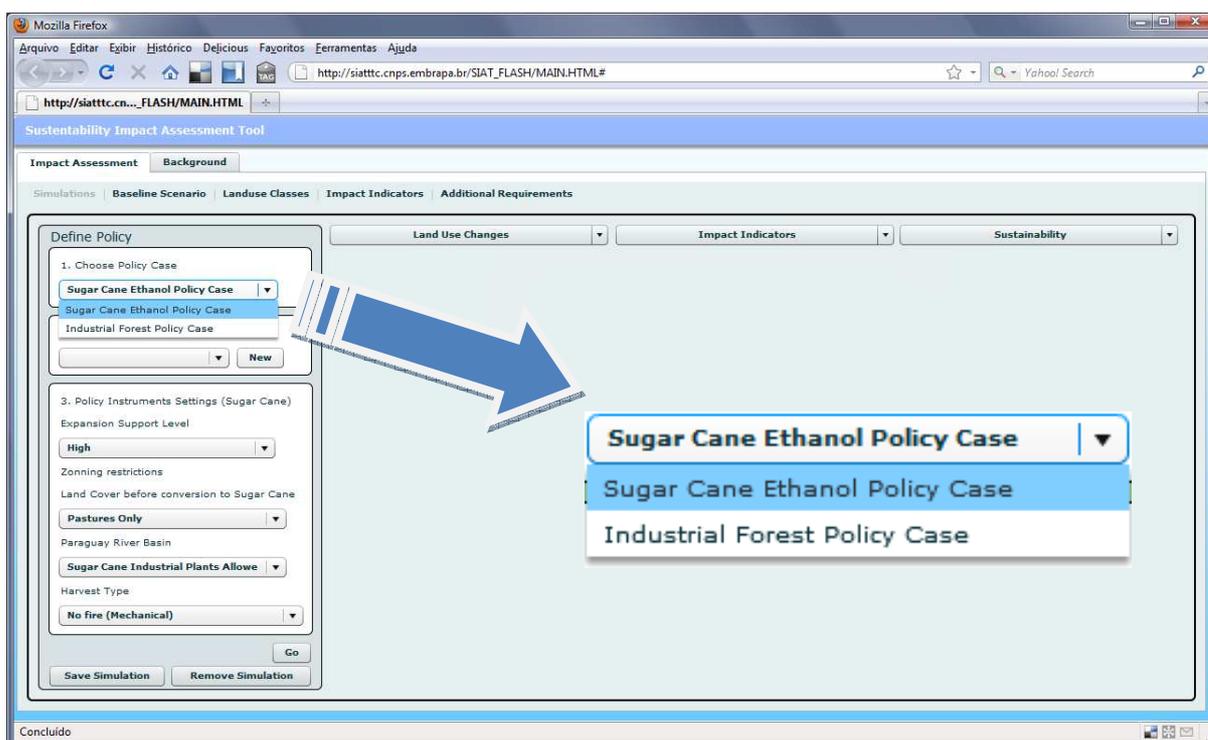


Figura 35 – Imagem do protótipo SIAT-TTC: escolha de um caso de política dentre Cana de Açúcar ou Reflorestamento.

A GUI, desenvolvida em Adobe Flex, assumiu o formato RIA (Rich Internet Application), uma forma de projeto de software que privilegia o uso de navegadores *web* como estruturas de manifestação do componente da **Visão** do padrão M-V-C. Isso faz com que o aplicativo SIAT-TTC se comporte como se fosse um aplicativo *desktop*.

A fim de introduzir os casos de política escolhidos para o Mercosul para avaliação da sustentabilidade (plantio de cana de açúcar e reflorestamento), a interface gráfica do usuário (SiatGUI) foi reconstruída para o projeto SIAT-TTC (Figura 36) com a mesma abordagem conceitual do SIAT-EU com o processo de simulação e a informação requerida.

A responsabilidade por agregar comportamento aos componentes desenhados nas telas, bem como por estabelecer comunicação com o servidor da aplicação, local onde o núcleo do SIAT-TTC fica hospedado, foi atribuída aos módulos *ActionScript 3.0*.

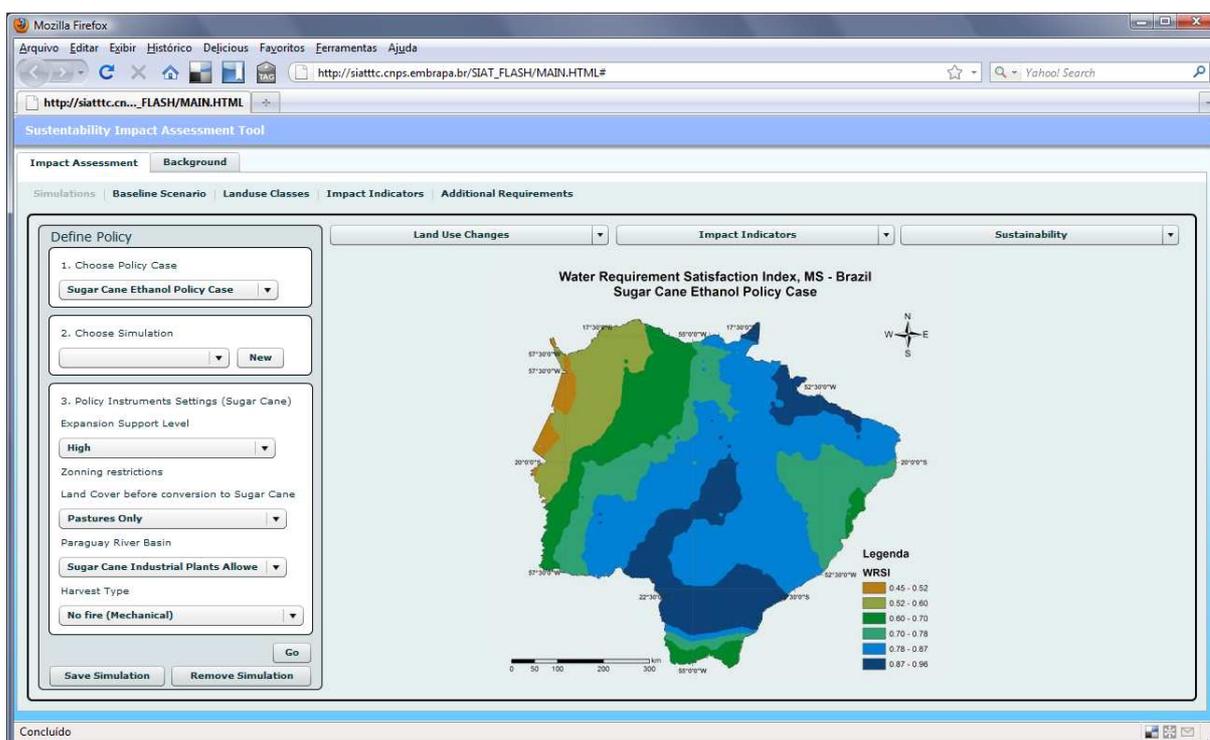


Figura 36 – Imagem do caso de política Cana de Açúcar: opções integradas dos indicadores de impacto no SIAT-TTC.

As respostas obtidas a partir de valores calculados por *funções resposta* e *funções indicador*, resgatadas do banco de dados, são aplicadas na construção de gráficos e mapas descritores acerca do impacto na sustentabilidade (Figura 36).

#### 4.1.2. Camada de Serviços

Esta camada tem como responsabilidade definir os limites da aplicação através do estabelecimento de um conjunto de operações disponíveis. Tem por objetivo coordenar as respostas da aplicação em cada operação. Na Tabela 5 é apresentada a listagem dos serviços descritos por esta camada.

Tabela 5 – Listagem dos Serviços disponíveis na arquitetura proposta

Serviço	Descrição
Disponibilizar Tarefa	Permite que um pesquisador coloque uma tarefa à disposição.
Buscar tarefas por pesquisador	Pesquisa as tarefas criadas por um pesquisador.
Cadastrar pesquisador	Realiza o cadastro de um novo pesquisador no site.
Montar <i>workflow</i>	Permite que um pesquisador construa uma instância de <i>workflow</i> com as tarefas disponíveis.
Remover <i>workflow</i>	Permite a exclusão de uma instância de <i>workflow</i> pelo pesquisador que a criou.
Buscar <i>workflows</i> que usam uma tarefa específica.	Pesquisa por todas as instâncias de <i>workflow</i> que contém uma tarefa específica.
Buscar <i>workflow</i> por avaliação de Kappa	Busca instância de <i>workflow</i> com melhor coeficiente Kappa.
Escolher <i>workflow</i> por avaliação de Kappa	Permite que um pesquisador adote uma instância de <i>workflow</i> com base no coeficiente Kappa obtido.
Buscar imagens por avaliação de Kappa	Permite que um pesquisador encontre imagens em função de estatísticas da avaliação sobre as classificações obtidas.
Escolher imagem por avaliação de Kappa	Permite que um pesquisador escolha imagens em função de estatísticas da avaliação sobre as classificações obtidas.

Os serviços descritos são estabelecidos fisicamente através dos URIs e dos métodos HTTP aceitos pelo padrão REST, de modo que o entendimento sobre o seu propósito e usabilidade fiquem claros através dos recursos apresentados, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Listagem de métodos HTTP disponíveis na aplicação por URIs

URI	Método HTTP	Recurso	Intenção
/tarefa/{id}	GET	Tarefa	Buscar uma tarefa.
	PUT	Tarefa	Atualizar uma tarefa.
	DELETE	Tarefa	Remover uma tarefa.
/tarefa	POST	Tarefa	Adicionar uma tarefa
/tarefa/{id}/parametros	GET	Coleção de parâmetros	Buscar parâmetros adicionados em uma tarefa.
	POST	Parâmetro	Adicionar parâmetro a uma tarefa.

/parametro/{id}	GET	Parâmetro	Buscar um parâmetro.
	PUT	Parâmetro	Atualizar um parâmetro.
	DELETE	-	Remover um parâmetro.
/pesquisador	POST	Pesquisador	Cadastrar um pesquisador.
/pesquisador/{id}	GET	Pesquisador	Buscar um pesquisador.
	PUT	Pesquisador	Atualizar um pesquisador.
/pesquisador/{id}/workflows	GET	Coleção de <i>workflows</i>	Buscar as instâncias de <i>workflows</i> criadas por um pesquisador.
/pesquisador/{id}/tarefas	GET	Coleção de tarefas	Buscar as tarefas disponibilizadas por um determinado pesquisador.
	POST	Tarefa	Pesquisador disponibiliza nova tarefa à venda.
/coeficiente/{id}	GET	Coeficiente	Buscar um determinado coeficiente kappa.
/coeficiente/entre/{id}/e/{id}	POST	Coeficiente	Realizar busca de coeficientes kappa num determinado intervalo.

#### 4.1.3. Camada de Execução ou Aplicação

A camada de execução ou de aplicação é a camada responsável pela execução das atividades que são montadas a partir da camada de objetos adaptáveis (seção 4.1.4). Nesta camada estão localizados os *frameworks* freefluo, JEP e OpenMI, descritos nas seções 4.2.6, 4.2.7, e 4.2.8, que dão suporte às construções de *workflows* e de simulações com modelos matemáticos, estruturas que viabilizam a execução da cadeia de monitoramento e as avaliações dos impactos na sustentabilidade. São componentes da camada de execução os módulos para execução de *workflows*, para execução de regras de conhecimento e para execução de modelos.

#### 4.1.4. Camada de Objetos Adaptáveis (AOM)

Com o objetivo de permitir que a camada de execução (ou aplicação) seja reconstituída dinamicamente (seção 5.3), sem a necessidade de recriação ou modificação dos seus componentes, a camada de objetos adaptáveis produz objetos

de regras de negócio a partir dos metadados existentes na camada de persistência (seção 4.1.6). Diante disso, qualquer necessidade de modificação sobre o comportamento da camada de aplicação se faz através da modificação das informações descritoras dos *workflows* existentes nessa camada (seção 4.1.6).

#### **4.1.5. Camada de Acesso aos Dados (DAO)**

A camada de acesso aos dados contempla o uso do padrão JEE *Data Access Object* (DAO). O padrão DAO abstrai e encapsula todo acesso ao armazenamento persistente, gerenciando a conexão com a fonte de dados para se obter e armazenar os dados do sistema de gerência de análises em seqüências temporais de dados modis.

Possui a programação do mecanismo de acesso necessário para trabalhar com a fonte de dados, independente do seu tipo, pois oculta das demais camadas da arquitetura os detalhes de implementação de fonte de dados, tais como informações sobre conectividade com o SQL Server 2005 e comandos SQL utilizados para a obtenção e gravação dos dados.

#### **4.1.6. Camada de Persistência**

Com o propósito de armazenar as informações obtidas a partir dos processamentos executados na camada de aplicação, bem como fornecer à camada de objetos adaptáveis os metadados necessários para a constituição dos modelos, regras de conhecimento e *workflows* existentes, a camada de persistência ocorre em SGBD's SQL Server 2005, com tabelas que guardam consigo as informações sobre características intrínsecas e extrínsecas a respeito dos monitoramentos realizados.

São consideradas características intrínsecas todas as configurações que atendem às demandas comuns para construção de qualquer *workflow*, tais como o aplicativo que deve ser executado na camada de aplicação para dar suporte ao funcionamento de uma determinada tarefa, o nome do repositório que guardará o

resultado da execução de uma tarefa, os nomes dos atributos que compõem uma tarefa e os nomes das tarefas que compõem o *workflow* de um monitoramento. Estas informações podem ser encontradas nas tabelas identificadas pelos nomes *enviair\_workflows*, *enviair\_tarefas\_por\_workflow*, *enviair\_monitoramentos*, *enviair\_tarefas*, *enviair\_parametros\_tarefa* e *enviair\_categorias\_tarefa* (Anexo C).

São exemplos de informações sobre características extrínsecas o valor preenchido em um determinado parâmetro de tarefa, o nome de uma *instância de workflow* bem como o início e o fim da sua execução, além da data da criação de um arquivo em função da execução de uma determinada instância de tarefa. As informações extrínsecas são destinadas aos registros sobre a proveniência dos dados gerados com o intuito de promover a rastreabilidade (seção 2.4.6) dos monitoramentos realizados.

Os registros sobre proveniência são armazenados nas tabelas *enviair\_instancias\_tarefa*, *enviair\_instancias\_parametro*, *enviair\_conexoes\_tarefa*, *enviair\_instancias\_workflow*, *enviair\_monitoramentos* e *enviair\_proprietario\_workflow* (Anexo C). A responsabilidade sobre a captação das informações de proveniência fica a cargo da camada de execução ou aplicação (seção 4.1.3) e a realização dos registros em tabela sobre as informações de proveniência dos dados gerados fica a cargo da camada de acesso aos dados (seção 4.1.5).

As *tabelas sens\_entity*, *sens\_specification*, *sens\_specification\_builder*, *sens\_entity\_builder*, *sens\_variable* e *sens\_response\_specification* (Anexo E) são consultadas para obtenção da descrição que deverá ser obedecida para a construção dos modelos de interesse. O processo de construção de especificações e entidades é demonstrado no decorrer da seção 5.2.

## 4.2. Módulos Componentes da Arquitetura

O *subsistema gerenciador de workflows* se manifesta com o propósito de gerir cadeias de monitoramento de séries temporais geoprocessadas com o uso de imagens MODIS (NASA). Este módulo foi construído originalmente dentro do

contexto do projeto ENVIAR<sup>29</sup> frente à necessidade de integração dos dados provenientes de processamento das imagens de satélite, bem como a gestão das instâncias de *workflow* utilizadas para a produção dos dados.

O *subsistema gerenciador de modelos e simulações* constitui-se de um componente para descrição de regras de conhecimento, de um componente voltado para a descrição dos próprios modelos e de uma camada responsável por agregar modelos e regras de conhecimento, ou seja, um Modelo de Objetos Adaptáveis (seção 4.1.3) para descrição das restrições de preenchimento das variáveis componentes do modelo em questão, conhecido como plano de preenchimento e restrição.



Figura 37 – Módulos da Arquitetura Proposta.

#### 4.2.1. Módulo componente da camada de serviços

A API *Jersey* para serviços *web* REST foi utilizada para promover o acesso aos recursos gerenciados pela arquitetura dentro do contexto do projeto ENVIAR. O

<sup>29</sup> Tecnologias Avançadas em Processamento Digital de Imagens para o Monitoramento Automatizado do Desflorestamento, Degradação da Terra e da Expansão do Sistema Plantio Direto da classificação Sistemática do Uso e Cobertura do Solo. Cooperação internacional CNPq/INRIA em parceria com pesquisadores da UERJ, INRIA e da Embrapa Solos.

projeto *Jersey* é mantido por uma comunidade de desenvolvimento de código aberto, responsável pela produção da implementação de referência de qualidade da *Java Specification Request (JSR) – 311 (JAX-RS - Java API)* para serviços *web REST*.

*Jersey* implementa suporte para anotações, o que eleva a sua usabilidade para a construção de serviços *web* com a linguagem de programação Java. Além da implementação da JSR-311 API, *Jersey* fornece uma API adicional não especificada através da JSR-311, onde desenvolvedores com o intuito de personalização possam estender esta API para inserir suas necessidades específicas.

Já no caso do processo de transferência de tecnologia da ferramenta SIAT, o uso do Adobe Flex viabilizou a adoção da biblioteca *BlazeDS*, um componente *opensource* (licença LGPL v3) que permite trocas de mensagens entre a programação Java e a programação *ActionScript/Flex/Flash* ao incorporar a transmissão de dados pela publicação da assinatura dos seus métodos. *BlazeDS* torna possível também gerar vários tipos de canais de conexão, com destaque para o serviço de *data-push*<sup>30</sup>.

#### **4.2.2. Módulo componente da camada de interface gráfica para o desenho conceitual de *workflows***

Para possibilitar a realização do desenho de fluxos através de navegadores *web* foi utilizada a biblioteca *JGraph*. Trata-se de uma biblioteca *open-source* escrita em linguagem Java para utilização de recursos visuais no formato de grafos. Foi escrita para ser totalmente compatível com o pacote gráfico *Swing (Sun Microsystems)*, portátil para utilização em navegadores *web* através do formato *Java Applet*.

A API *JGraph* apresenta uma grande variedade de funcionalidades para a realização de desenhos no formato de grafos para aplicações cliente-servidor.

---

<sup>30</sup> Implementação semelhante ao padrão *Observer* (GAMMA et al., 2000) realizada através do mecanismo *Module Loader*, onde os componentes SWF são carregados a medida que é realizada uma requisição a partir do lado cliente. Um componente SWF da tecnologia Adobe Flex tem comportamento similar a um componente JAR da tecnologia Sun Java Applet. Trata-se da técnica *Code-on-Demand* onde módulos executáveis do programa são baixados do lado servidor para o lado cliente de acordo com a necessidade de execução identificada pelo aplicativo para o Mercosul.

Possui uma API simples, contudo poderosa, permitindo visualizar e interagir com a execução dos fluxos desenhados através da representação de contexto com o uso de metadados para exibição dos seus componentes.

*JGraph* oferece uma arquitetura apoiada no padrão M-V-C (Model-View-Controller) o que facilita o desenvolvimento baseado na manifestação de eventos, sejam eventos a partir dos dispositivos de entrada *mouse* e teclado, ou eventos através de notificações geradas pelo próprio *JGraph*.

A biblioteca *JGraph* oferece os seguintes formatos de notificações:

- Mudanças ocorridas no Modelo do Grafo manipulado;
- Mudanças ocorridas na Visão que apresenta na tela o formato do grafo manipulado;
- Mudanças ocorridas a partir de componentes de grafo selecionados;
- Retrocesso em edições ocorridas no Modelo do Grafo, responsabilidade do *GraphUndoManager* (Figura 38);

Com o uso de interfaces específicas, eventos ocorridos pela utilização do *JGraph* podem ser identificados. A interface *MouseListener* é utilizada para captura dos eventos do mouse. Para notificações de mudanças ocorridas no Modelo, a interface *GraphModelListener* é utilizada (Figura 38). A interface *GraphSelectionListener* responde às mudanças ocorridas a partir de componentes selecionados.

Até a versão *JGraph-2.0-Geneva*, modificações visuais eram capturadas pela classe *GraphView*, através da implementação da interface *java.util.Observable*. A partir dali, *GraphView* foi renomeada para *GraphLayoutCache* com eventos do tipo *GraphLayoutCacheEvent* capturados através da interface *GraphLayoutCacheListener*.

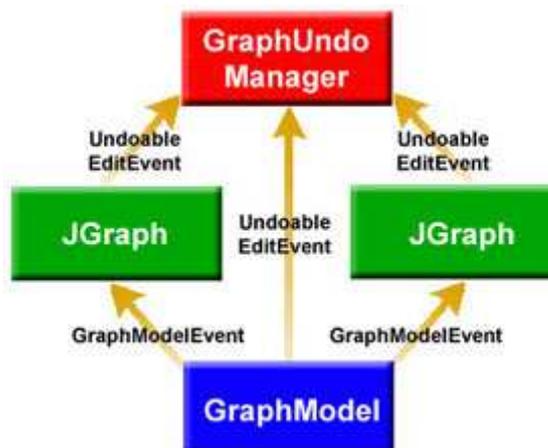


Figura 38 – Modelo de Eventos do componente JGraph  
Fonte: JGRAPH, 2009.

#### 4.2.3. Módulo componente da camada de *objetos adaptáveis para workflows*

Com informações obtidas a partir da camada de acesso aos dados (seção 4.1.5), a camada de objetos adaptáveis atua na concepção dos *workflows* para a realização dos monitoramentos de mudança de uso do solo a partir da leitura sobre as informações intrínsecas existentes nas tabelas citadas na seção 4.1.6.

Com a obtenção das informações intrínsecas, torna-se possível promover a construção dinâmica de objetos a partir do *framework* do motor Freefluo, que viabiliza a execução dos *workflows* com suporte nativo à captura de proveniência, graças ao *módulo interceptador de dados* do *gerenciador principal* do Freefluo (seção 4.2.6).

#### 4.2.4. Módulo componente da camada de *objetos adaptáveis para regras de conhecimento*

O uso da biblioteca JEP, um *parser* para o uso de expressões matemáticas, eliminou a necessidade de criação de uma nova programação Java para cada novo conjunto de *funções resposta* ou *funções indicador*, as quais devem ser usadas para representar novos *casos de política* e *opções de política*.

Fundamentalmente, este componente permite que os objetos de expressões matemáticas sejam *adaptados* para novas funções através das implementações dos padrões *Interpreter* (GAMMA et al., 2000) e *Flyweigth* (GAMMA et al., 2000) existentes na biblioteca JEP, compondo assim uma *Árvore Sintática Abstrata*<sup>31</sup> (AST).

A AST captura a estrutura essencial de uma entrada de dados de uma aplicação em um formato de árvore ao omitir detalhes sintáticos desnecessários, avaliando uma expressão matemática existente em uma *string* através de um processo com as etapas análise gramatical e avaliação, conforme mostra a Figura 39.

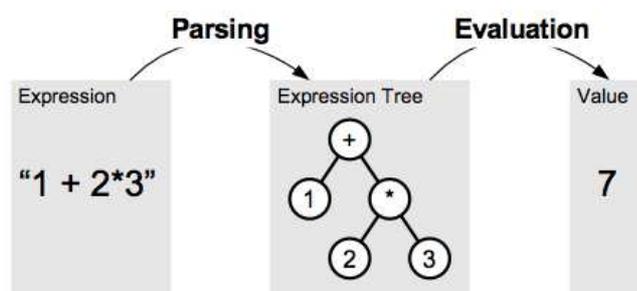


Figura 39 – Análise Gramatical e Avaliação.  
Fonte: Singular Systems, 2008.

A etapa de análise gramatical, viabilizada através do *componente da camada de objetos adaptáveis para regras de conhecimento*, procura reconhecer a expressão matemática existente dentro da *string* que foi recuperada da tabela do banco de dados.

A entrada para a etapa de análise gramatical é um texto matemático com operandos e operadores, onde os operandos podem ser variáveis, funções ou constantes, enquanto que a saída é uma representação em árvore derivada da expressão matemática de entrada. Esta representação de árvore permite a ocorrência da etapa de avaliação (seção 4.2.7).

Por exemplo, a expressão matemática “3 + 4”, escrita em notação infixa, pode ser traduzida para a notação prefixa, ou notação polonesa, o que transforma

<sup>31</sup> Uma *Árvore Sintática Abstrata* é definida como uma representação em árvore de uma estrutura sintática abstrata (simplificada) do código fonte escrita em uma determinada linguagem de programação. Cada nó da árvore representa uma construção que ocorre no código fonte.

seu formato de apresentação para “+ 3 4”. Na seção 5.2.4 são exibidos detalhes sobre a implementação e o uso da biblioteca JEP.

#### **4.2.5. Módulo componente da camada de *objetos adaptáveis* para modelos (AOM)**

Este componente tem como objetivo atuar como construtor dos modelos que serão aplicados nas simulações. Fundamentalmente, este componente é constituído por padrões de projeto de criação (Anexo A – Padrões de Projeto).

A criação dinâmica dos modelos a partir de metadados descritos nas tabelas do SGDB viabiliza alterações diretas no funcionamento da aplicação, sem a necessidade de que o código-fonte seja novamente compilado. O uso de objetos adaptáveis através de padrões de projeto de criação também atende à demanda de usabilidade dos metadados de forma compartilhada.

Conforme citado anteriormente, esta característica se viabiliza com ontologias através de ferramentas especializadas na criação de arquivos OWL que dão suporte ao funcionamento de um aplicativo, além da necessidade da presença de um processo voltado para esta forma de criação de conceitos (seção 2.9). Esta situação ocorre com a arquitetura *SEAMLESS-IF*, com a constante necessidade do uso de geradores de código na criação de classes de transferência de dados entre as camadas da arquitetura (seção 2.8.4).

Com o uso de objetos adaptáveis, novas *funções resposta* e *funções indicador* podem ser descritas pelo próprio usuário, sem a necessidade de um programador ou especialista em outras ferramentas para criação de ontologias, como é citado na seção 5.3, através da adição de conceitos sob a forma de *strings* em tabelas do banco de dados.

#### **4.2.6. Módulo componente da camada de execução de *workflows***

Este módulo é composto pelos elementos de *runtime* que efetivamente possuem a implementação necessária para a manifestação dos processamentos encadeados desenhados pelo primeiro subsistema, capaz de executar os *workflows*

definidos pelos especialistas envolvidos na modelagem, realizada pelo módulo para desenho conceitual de *workflows*, e formalizar o uso do padrão *Multi Merge* também indisponível, por exemplo, em XPDL, que aparenta ser a linguagem que mais se aproxima de uma proposta realmente completa. Sua implementação foi baseada na reutilização do motor de *workflow* Freefluo, utilizado no projeto *myGrid* através do uso do sistema Taverna para construção de *workflows* científicos.

Além de manifestações de modelagens “iniciadas do zero” é possível também estabelecer modelos por reutilização de desenhos de *workflow* existentes a partir de monitoramentos ocorridos anteriormente com sucesso, assumindo um formato de *colaboração temporal*, situação onde dois usuários, apesar de não participarem simultaneamente da construção de um mesmo *workflow*, compartilham suas experiências, uma a partir da outra, sendo a evolução do segundo monitoramento uma derivação da experiência obtida a partir do monitoramento anterior. Com isso, podem ser descritas instanciações do framework para tipos de metodologias de trabalho diferenciados e comumente encontrados (JONATHAN, 2005; TEIXEIRA, 2009).

O *framework Freefluo* é um motor de *workflow* para orquestração de serviços *web*, inicialmente com código fonte proprietário, mas agora disponível para reutilização e adaptação. A adaptação do Motor *Freefluo (myGrid)* ao uso dos aplicativos implementados por JONATHAN (2005) se deu através da criação de uma nova camada de abstração<sup>32</sup> ou nível de indireção<sup>33</sup>.

O motor *Freefluo* é composto por um *gerenciador principal* e um *gerenciador núcleo*. Cabem ao funcionamento do *gerenciador principal* preocupações sobre captura de proveniência através da implementação da *interface DataHandler*, configuração global do motor através da implementação da *interface EngineConfiguration*, monitoramento sobre mudanças do estado global do *workflow* através da implementação da *interface WorkflowStateListener* e aspectos sobre

---

<sup>32</sup> Uma camada de abstração é uma maneira de esconder os detalhes de implementação de um conjunto específico de funcionalidade. A refatoração tende a dividir objetos grandes em diversos objetos menores e métodos grandes em diversos métodos menores.

<sup>33</sup> Nível de indireção se refere à quantidade de camadas de abstração criadas com o intuito de aprimorar a manutenibilidade do *software*. Tem como grandes vantagens permitir o compartilhamento da lógica do *software*, expor intenção e implementação separadamente, isolar alterações na construção do *software* e expressar de forma clara e flexível a lógica condicional

segurança disponibilizados através da *interface SecureEngine*, como mostra a Figura 40.

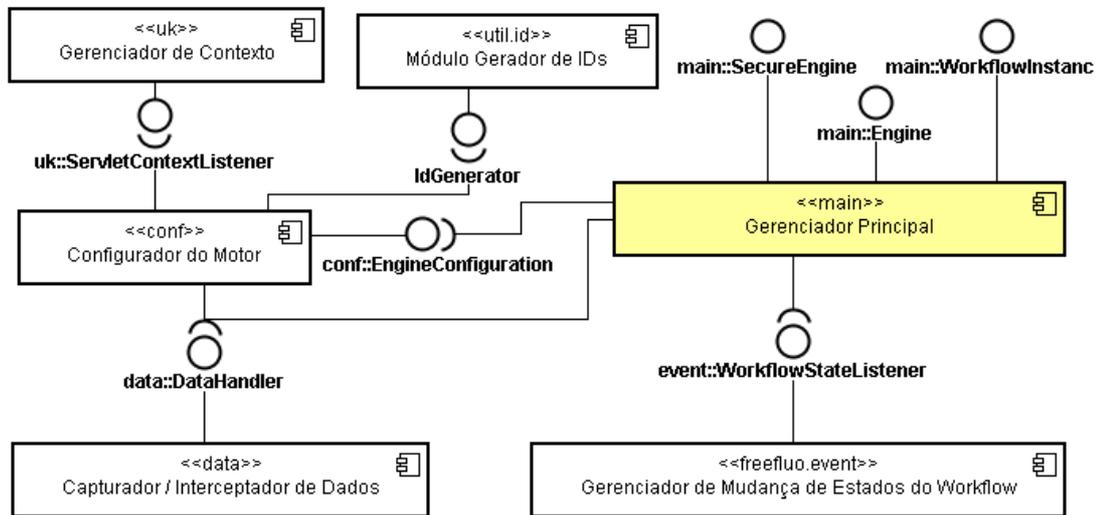


Figura 40 – Diagrama de Componentes que descreve o *gerenciador principal* do motor FreeFluo.

O gerenciador de núcleo possui características voltadas para a identificação de eventos de tarefas, através da implementação da *interface TaskEventListener*, mudanças de estados das tarefas, através da implementação da *interface TaskStateListener* e mudança de estados dos fluxos componentes de um *workflow*, como pode ser visto no diagrama de componentes da Figura 41.

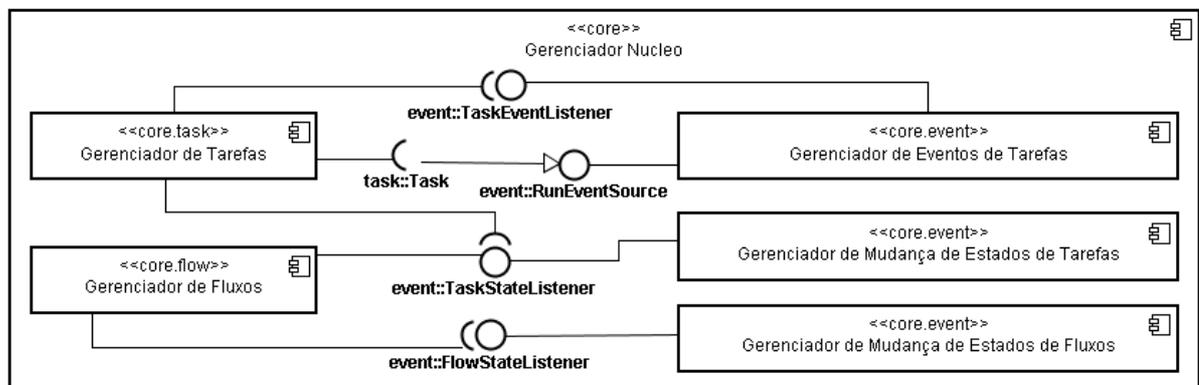


Figura 41 – Diagrama de Componentes que descreve o *gerenciador núcleo* do motor FreeFluo

#### 4.2.7. Módulo componente da camada de execução de regras de conhecimento

A etapa de avaliação das expressões matemáticas, posterior à ocorrência da etapa de análise gramatical descrita na seção 4.2.4, ocorre a partir do componente da camada de execução de regras de conhecimento e extrai o valor calculado a partir de uma expressão matemática representada na AST.

Uma vez que a expressão matemática é representada em memória como uma árvore, estes objetos serão usados para avaliar a expressão e para obter seu resultado, de modo que seus resultados parciais são dinamicamente retornados para a árvore através dos nós especiais chamados *variáveis*. A fim de permitir esta transferência dinâmica dos valores à árvore sintática, a construção da árvore deve ser realizada constituindo seus operandos com *variáveis*.

O formato de uma expressão matemática que usa *variáveis* como operandos é similar à expressão “ $1 - (\text{DEMPTOT} / \text{LABFOR})$ ”. Esta expressão é uma *função indicador*, onde DEMPTOT e LABFOR são duas *variáveis*, cujos valores são atribuídos de acordo com o contexto de uso.

Dentro do projeto SENSOR, estes contextos são caracterizados por regiões de interesse, uma vez que há valores específicos para as variáveis usadas como operandos nas expressões matemáticas que correspondem às funções usadas no processo de simulação do SIAT-TTC: *funções resposta* e *funções indicador*.

#### 4.2.8. Módulo componente da camada de execução de modelos

O meta-modelo OpenMI foi utilizado com a proposta de promover maior facilidade no reuso dos modelos matemáticos, a estrutura de dados e as regras de negócio, tem como tornar possível a criação dinâmica de cadeias de modelos formadas por *Funções Indicador* e *Funções Resposta* apropriadas para simulações de cenários do impacto em cada região de estudo.

Essas cadeias foram criadas através da implementação da Interface *LinkableComponent* (*OpenMI*). *IndicatorComponent* e *ResponseComponent* são implementações de *LinkableComponent*. No SIAT-TTC, uma mesma *Função*

*Indicador* retorna respostas diferentes para regiões espaciais diferentes dadas as significâncias atribuídas às variáveis que compõem as *Funções Resposta* de cada região de interesse.

Para implementar a solução no estudo de caso do Mercosul fez-se algumas adaptações dentro do processo de teste da transferência de tecnologia, conforme descrição a seguir:

- *Simulation services* – para que este elemento esteja habilitado a acessar o Modelo de Domínio, a biblioteca BlazeDS foi usada no SIAT-TTC para promover um maior desempenho através da transmissão de dados em formato binário entre a camada cliente e a camada servidor.
- *SiatLinkables* – este elemento refere-se às implementações específicas do modelo (por exemplo, uma *função resposta*). Funções Resposta são exemplos de implementações de um *SiatLinkable*, uma especialização da interface *LinkableComponent* (OpenMI).

### 4.3. Considerações Finais

Este capítulo expôs a arquitetura em que se apóia o processo de monitoramento da mudança de uso e cobertura do solo e de simulações com avaliações de impacto, baseado em uma na adaptação da ferramenta SIAT para o novo formato SIAT-TTC para o Mercosul. Estes duas estruturas atuam como facilitadores para a obtenção dos resultados para avaliações de impacto.

Pelo fato de os pesquisadores apresentarem baixa autonomia quanto à tarefa de inserção de novas *funções resposta* e *funções indicadores* na ferramenta SIAT, os *SiatLinkables* (item 4.2.8) tornaram-se fortes candidatos à refatoração. Para isso, um estilo de Modelos de Objetos Adaptáveis foi proposto como uma forma de permitir que novos modelos matemáticos fossem alimentados na ferramenta através de uma interface gráfica com o usuário, tais como *novos casos de política*, *novos instrumentos de políticas* e *novos cenários de base*, permitindo que fossem postos em produção de forma dinâmica, ou seja, com o aplicativo em

funcionamento, sem a necessidade de se recriar e recompilar os módulos funcionais no aplicativo para o Mercosul.

Para a realização da transferência de tecnologia do SIAT-TTC foi necessário reconstruir a interface gráfica do usuário, apoiando-se numa abordagem participativa dos especialistas de modelos, a fim de cumprir os requisitos dos casos de política (*policy cases*) e suas manifestações personalizadas para as diferentes regiões de interesse.

O capítulo seguinte descreve abordagens em engenharia de software aplicadas ao SIAT com o intuito de contribuir para o aprimoramento do processo de transferência de tecnologia para o formato SIAT-TTC Mercosul.

## 5. Projeto de Software e detalhes da implementação para a arquitetura proposta

A Engenharia de Software trabalha para alcançar novas técnicas que visam à melhoria constante do processo de construção de software, preocupação igualmente aplicada aos interesses sobre como manter o software funcionando adequadamente, dadas as exigências de manutenção dos seus componentes.

De acordo com ZACHMAN (1987) a arquitetura de um sistema representa a construção lógica de uma ferramenta, definindo, controlando as interfaces e integrando os seus elementos do sistema. A proposta de desenvolver uma arquitetura de integração de variáveis ambientais, segundo VERWEIJ et al., (2008) baseou-se no desenvolvimento do software SIAT que permitisse fácil manutenção dos elementos separadamente, apresentando características como baixo acoplamento para aumentar a reutilização e facilitar o processo de transferibilidade.

O SIAT-TTC usa arquitetura com camadas, onde a interface com o usuário, lógica funcional do processo e o armazenamento e acesso aos dados são desenvolvidos e mantidos como módulos independentes ou simplesmente camadas conforme apresentado no capítulo 4. Esta arquitetura permite maior flexibilidade agregada ao SIAT que é concentrada em três pontos principais: i) orientação aos dados; ii) modelos “plugáveis” ; iii) baixo acoplamento com a interface gráfica do usuário.

Para avaliar o processo de transferência de tecnologia do SIAT para as condições do Mercosul, procurou-se utilizar uma abordagem apoiada nessa flexibilidade, permitindo novas adaptações em função da disponibilidade dos dados e informações. A flexibilidade de modificações depende do tipo de política focada. A inclusão de novos modelos matemáticos demanda o trabalho de um programador visando promover soluções de flexibilidade nas funções para permitir outras possibilidades de criação de cenários usando diferentes soluções.

O SIAT-TTC usa um estilo de Arquitetura de Modelos de Objetos Adaptáveis (*Adaptive Model-Object Architecture Style*), ou seja, de Modelos de Objetos Ativos

(*Active Object Models*) ou Modelos de Objetos Dinâmicos (*Dynamic Object Models*) (YODER et al., 2001).

Neste sentido, procurou-se entender e desenvolver soluções de forma a habilitar o reuso de funcionalidades isoladas para suportar a transferência de tecnologia proposta. Fez-se uma análise de cada componente para entender sua funcionalidade. Assim, os elementos do software são: (1) *SiatGUI* – Interface Gráfica do Usuário; (2) *Simulation services* – responsáveis pelo acesso aos *policy cases*, funções de indicadores e uso da terra; (3) *SiatLinkables* – implementação de modelos específicos que assumem o formato de *policy cases* e funções indicadores e de resposta; (4) *Map Services* – mapas interativos; (5) *SLD services* – simbolização; e (6) serviços para visualização de paisagens *3D*, seguindo a metodologia descrita por VERWEIJ et al. (2008).

Na implementação da ferramenta para o Mercosul foram usados muitos dos elementos arquiteturais desenvolvido pelo grupo de cientistas da Comunidade Européia, com exceção do *SLD services* e serviços para visualização de paisagens *3D*, pela limitação de tempo e informações para simbolizar entidades espaciais de visualização em três dimensões.

Em relação aos outros elementos arquiteturais, algumas de suas funcionalidades foram adaptadas usando ferramentas como o Adobe BlazeDS e aplicando-se o estilo de Arquitetura de Modelos de Objetos Adaptáveis.

### **5.1. Transferência de tecnologia da ferramenta SIAT para o Mercosul**

A Engenharia de Software foi aplicada ao desenvolvimento original do SIAT objetivando estimular e facilitar o processo de transferência de tecnologia apoiado no grau de isolamento dos seus componentes através do uso do padrão M-V-C (Modelo – Visão – Controle). O padrão M – V – C impõe a separação lógica entre i) os componentes de *modelo*, onde as regras de negócio estão localizadas; ii) os componentes de *visão*, cuja principal manifestação assume o formato de uma GUI (Interface Gráfica do Usuário), e iii) o componente de *controle* que harmoniza o

funcionamento do aplicativo, servindo de intermediador entre os outros componentes citados.

## 5.2. Estratégia de Abstração Adotada

Através de enunciados bem definidos, buscou-se trabalhar com níveis de abstração observáveis (PRESSMAN, 2003). Por outro lado, YOSHIZAKI (1997) lembra que quanto maior o nível de abstração, mais estruturado e "algébrico" pode se transformar o modelo, pois a cada degrau galgado, há obrigatoriamente um processo de *perda da riqueza original da situação*.

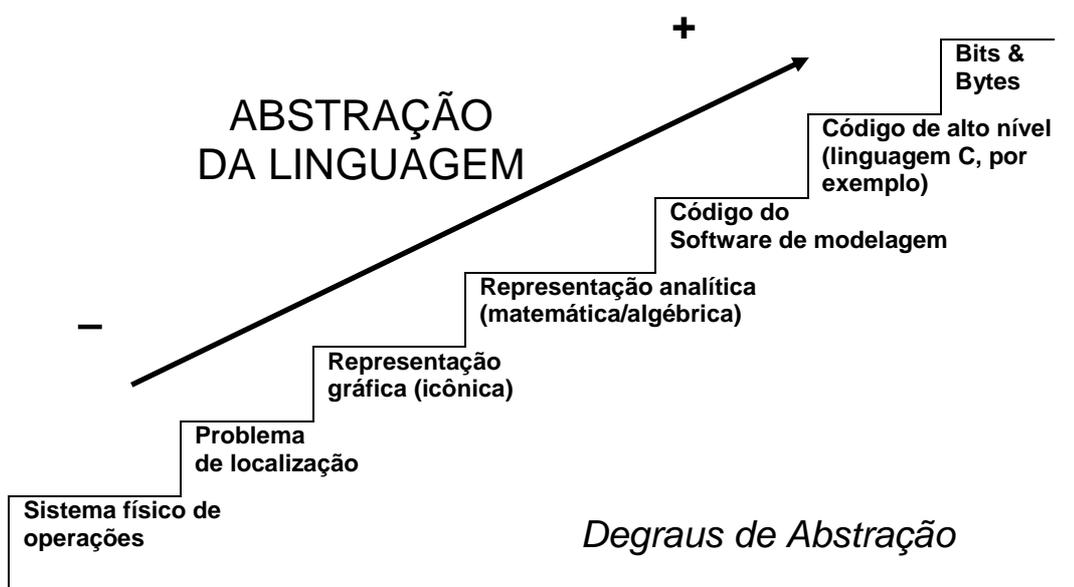


Figura 42 - Níveis de abstração vs. riqueza de comunicação e linguagens

Fonte: YOSHIZAKI, 1997

Sendo assim, a distância entre a realidade percebida pelo usuário e sua representação sob a forma de um modelo é aumentada, o que se apresenta como situação inevitável. A própria característica de processos de comunicação e linguagem, onde se devem usar símbolos comuns para alcançar a compreensão de outras pessoas (YOSHIZAKI, 1997), caminha no sentido contrário do processo de

modelagem, que necessita de simplificações além das de natureza semântica para sermos capazes de solucionar o modelo (YOSHIZAKI, 1997).

EVANS (2004) apresenta o conceito de *domain-driven design* voltado para a compreensão do domínio de um problema, onde técnicos tornam-se mais habilitados para discutir seus detalhes com especialistas do domínio ou analistas de uma determinada área de conhecimento. *Domain-driven design*, portanto, versa sobre a complexidade que um domínio de conhecimento deve enfrentar acerca de um determinado problema, onde o *modelo é um sistema de abstração* que descreve aspectos selecionados desse domínio de conhecimento e pode ser usado para resolver problemas com o uso de uma *linguagem ubíqua*.

Segundo EVANS (2004), linguagem ubíqua é uma linguagem estruturada dentro do Modelo de Domínio e usada por todos os membros da equipe para melhorar a comunicação, uma linguagem onipresente. Trata-se de uma espécie de Jargão, ou seja, um conjunto de termos específicos usados entre pessoas que compartilham a mesma profissão ou trabalham no mesmo projeto e que dá a noção de que a linguagem estará presente em qualquer lugar, propagando-se através do código-fonte do software, através do banco de dados, através da documentação textual (anotações) ou da documentação baseada em diagramas UML com elevado grau semântico.

Atualmente, o uso de linguagens ubíquas apresenta uma forma de aproximação entre a inevitável elevação de abstração em processos de modelagem e a incansável busca pela compreensão global dos modelos, não se restringindo somente à compreensão pelos próprios especialistas que os projetam, pois essas linguagens apresentam uma forma de propagação do entendimento dos modelos através do uso de semântica adequada para cada situação de aplicação.

O uso de uma linguagem ubíqua levanta alguns aspectos essenciais:

- Colaboração criativa entre os especialistas do domínio e especialistas em software;
- Exploração e experimentação, onde idéias ruins podem surgir, porém a exploração do domínio em questão é importante para uma boa compreensão do domínio do problema;

- Modelos emergentes de elaboração e re-elaboração de uma linguagem ubíqua;
- Camadas explícitas de contextos;

FOWLER (2009a) apresenta um padrão de projeto conhecido como *Specification*, representado na Figura 50. A maior contribuição desse padrão é promover o isolamento da lógica booleana aplicada ao funcionamento de um *software*. Este padrão, combinado com outros padrões, permite que o aplicativo seja executado de acordo com as definições lógicas do seu funcionamento gravadas na camada de persistência, num banco de dados por exemplo. Neste sentido, o padrão *Specification* oferece algumas técnicas de uso de padrões de projeto que aprimoram o processo de transferência de tecnologia.

Por exemplo, a possibilidade de construir telas com ferramentas automatizadas, permitindo a transferência do aplicativo SIAT-TTC para outros lugares e aplicação de diferentes casos de política sem a necessidade de nova programação para o aplicativo. A estratégia facilita a inclusão de novas opções de política e novos casos de política pelos próprios especialistas dos modelos, através do armazenamento dessas características em novas tabelas do banco de dados com *strings* que alimentam a aplicação e servem de base para o processo de simulação.

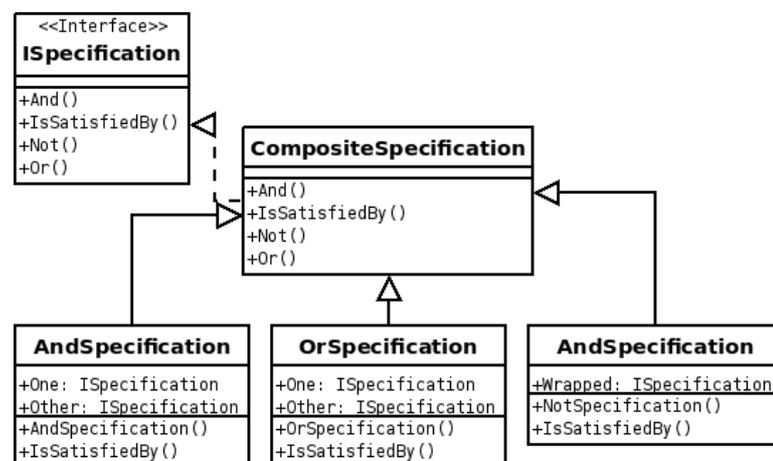


Figura 43 – Diagrama do Specification Pattern.  
Fonte: Wikipédia.

O diagrama apresentado na figura 5 é implementado pelo seguinte trecho de programa:

```

public interface Specification{
    boolean isSatisfiedBy(Object candidate);
    Specification and(Specification other);
    Specification or(Specification other);
    Specification not(Specification other);
}

public abstract class CompositeSpecification implements Specification{
    public abstract boolean isSatisfiedBy(Object candidate);
    public Specification and(Specification other) {
        return new AndSpecification(this, other);
    }
    public Specification or(Specification other) {
        return new OrSpecification(this, other);
    }
    public Specification not(Specification other) {
        return new NotSpecification(this);
    }
}

class AndSpecification extends CompositeSpecification{
    private Specification one;
    private Specification other;
    public AndSpecification(Specification x, Specification y){
        one = x;
        other = y;
    }
    public boolean isSatisfiedBy(Object candidate) {
        return one.isSatisfiedBy(candidate) &&
            other.isSatisfiedBy(candidate);
    }
}

class OrSpecification extends CompositeSpecification{
    private Specification one;
    private Specification other;
    public OrSpecification(Specification x, Specification y){
        one = x;
        other = y;
    }
    public boolean isSatisfiedBy(Object candidate){

```

```

        return one.isSatisfiedBy(candidate) ||
               other.isSatisfiedBy(candidate);
    }
}
class NotSpecification extends CompositeSpecification{
    private Specification wrapped;
    public NotSpecification(Specification x) {
        wrapped = x;
    }
    public boolean isSatisfiedBy(Object candidate) {
        return !wrapped.isSatisfiedBy(candidate);
    }
}

```

Como um exemplo de implementação do *Specification Pattern* para o aplicativo SIAT-TTC, o trecho JAVA *hard-coded* é mostrado:

```

SugarCaneEthanolSpecification sugarCane;
sugarCane = new SugarCaneEthanolSpecification();

IndustrialForestSpecification industrialForest;
industrialForest = new IndustrialForestSpecification();

PastureOnlySpecification pastureOnly;
pastureOnly = new PastureOnlySpecification();

PasturesAndCropsSpecification pastureAndCropsOnly;
pastureAndCropsOnly = new PasturesAndCropsSpecification();
NoRestrictionsSpecification noRestrictions;
noRestrictions = new NoRestrictionsSpecification();

SugarCaneIndustrialPlantsAllowedSpecification industrialPlantsAllowed;
industrialPlantsAllowed = new
SugarCaneIndustrialPlantsAllowedSpecification();

SugarCaneIndustrialPlantsNotAllowedSpecification
industrialPlantsNotAllowed;
industrialPlantsNotAllowed = new
SugarCaneIndustrialPlantsNotAllowedSpecification();

FireAllowedMechanicalAndManualHarvestTypeSpecification
mechanicalAndManualHarvestType;

```

```

mechanicalAndManualHarvestType = new
FireAllowedMechanicalAndManualHarvestTypeSpecification();

MechanicalNoFireSpecification mechanicalHarvestType;
mechanicalHarvestType = new MechanicalNoFireSpecification();

PolicyCase polCase1 = new PolicyCase();
PolicyCase polCase2 = new PolicyCase();

PolicyInstrumentSetting polSettings1 = new PolicyInstrumentSetting();
PolicyInstrumentSetting polSettings2 = new PolicyInstrumentSetting();
PolicyInstrumentSetting polSettings3 = new PolicyInstrumentSetting();

polCase1.id = 1; polCase1.name = "Sugar Cane Ethanol";
polCase2.id = 2; polCase2.name = "Industrial Forest";

// zonRestricLandCover == 2 ... "Pastures and Crops Only"
polSettings1.zonRestricLandCover = 2;
// zonRestricParaguay == 2 ... "S. Cane Industrial Plants Not Allowed"
polSettings1.zonRestricParaguay = 2;
// harvestType == 1 ... "No fire (Mechanical)"
polSettings1.harvestType = 1;

SiatSimulation simulation1 = new SiatSimulation();
simulation1.setPolicyCase(polCase1);
simulation1.setPolicySettings(polSettings1);

```

O diagrama da Figura 44 representa as classes implementadas na proposta da solução do SIAT-TTC.

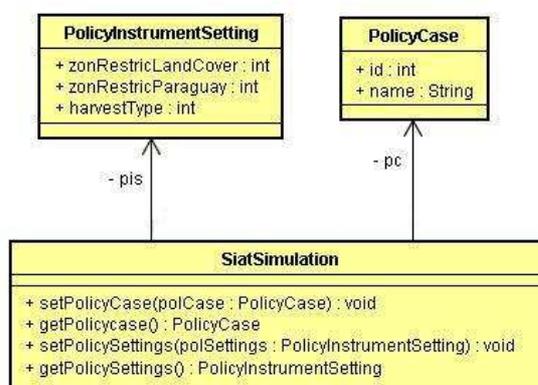


Figura 44 – Diagrama de classes no protótipo SIAT-TTC.

### 5.2.1. Limitação quanto ao uso do padrão *Domain Model*

O padrão *Domain Model* é usado para isolar as regras de negócio objetivando facilitar o trabalho de focalização e gerenciamento de regras complexas. Este Padrão faz do software um software capaz de funcionar fortemente baseado em *Domain-Driven Design*. A abordagem típica do uso de *Domain Objects* é exibida no diagrama da Figura 45.



Figura 45 – Diagrama sobre DomainObject.

Fonte: VERWEIJ et al., 2006.

VERWEIJ (2006) sugere o uso do padrão *Domain Model* ao criar subclasses a partir da classe *DomainObject* de acordo com a demanda por novas semânticas de outros domínios que possam ser utilizados (Figura 46).

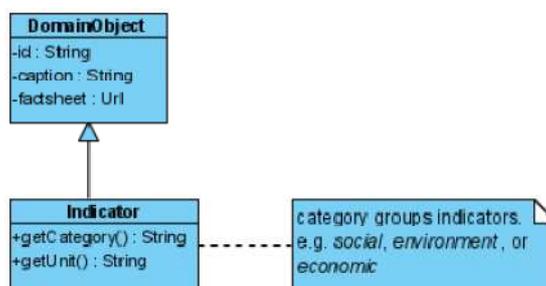


Figura 46 – *Indicator* é um *Domain Object*, inserido na lógica do funcionamento do aplicativo SIAT.

Fonte: VERWEIJ et al., 2006.

Seguindo este raciocínio, temos para o SIAT-TTC os seguintes candidatos a Domain Objects:

- *PolicyCase*
- *PolicyInstrumentSettings*
- *SiatSimulation*

- *Indicator*
- *Region*
- *Regions*

A nova semântica inserida em um determinado contexto de trabalho se manifesta através do mecanismo de herança<sup>34</sup> da Orientação a Objetos. Naturalmente, os atributos *Id: String*, *caption: String* e *factsheet:Url* são herdados pelas novas classes criadas para atender a nova demanda de desenvolvimento.

Para o caso de uma nova demanda por composição semântica é apresentado o exemplo de relacionamento existente entre uma *Region* e várias *Regions*, através do uso do mecanismo de composição da Orientação a Objetos. Este exemplo de composição é exibido no diagrama da Figura 47.

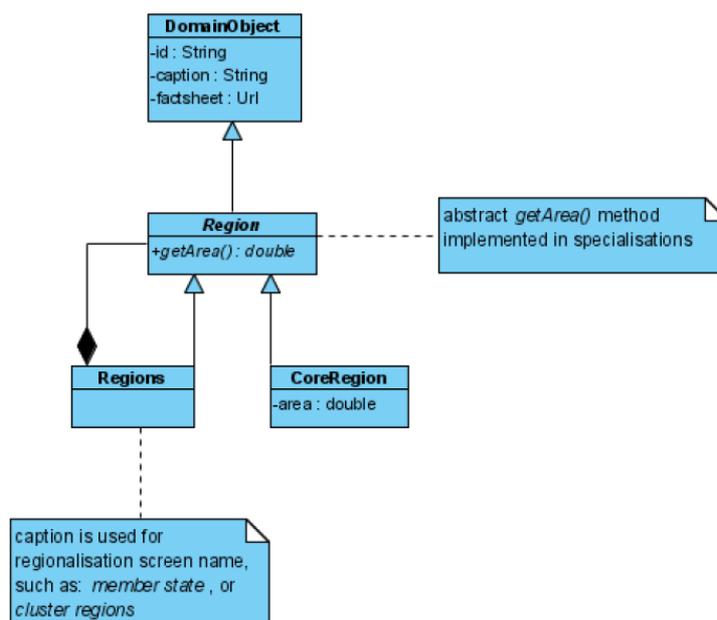


Figura 47 – Diagrama onde *Region*, *Regions* e *CoreRegion* são *Domain Objects*, inseridos no funcionamento lógico do aplicativo SIAT.

Fonte: VERWEIJ et al., 2006.

<sup>34</sup> Em programação orientada a objetos, **herança** é um meio de criação de novas classes (instâncias de classes são chamadas de objetos) usando classes que já foram definidas. O conceito de herança foi inventado em 1967 na linguagem Simula.<sup>[1]</sup> 1 [How Object-Oriented Programming Started – By Dahl and Nygaard](#)

Uma proposta eficaz é o ajuste das especificações combinando o padrão *Specification* e o padrão *Domain Model* através da refatoração das suas classes para criação de um *Meta-Specification* e um *Meta-DomainObject*.

### 5.2.2. Refactoring aplicado aos padrões *Specification* e *DomainObject*

Observando os exemplos anteriores para implementação dos padrões *Specification* e *Domain Model*, identifica-se a necessidade de criação de novas classes para que somente a partir delas sejam criados os objetos que fornecem o aspecto dinâmico da aplicação SIAT. Por exemplo, para se usar a semântica existente em uma *Region* é necessário criar uma nova classe que herda da classe *DomainObject* e que representa esta manifestação semântica

Outra questão versa sobre a necessidade do uso de variações de especificações (*Specification*) que caracterizam todas as condições lógicas de funcionamento da aplicação, onde uma delas é conhecida por condição *Pastures And Crops Only*. Somente é possível manifestá-la, dentro da estratégia de uso do *Specification Pattern*, a partir da criação de uma subclasse de *Specification* com o nome *PasturesAndCropsSpecification* que possibilite a criação de objetos que manifestem dinamicamente o seu propósito, ou seja, o propósito de configuração do estado da aplicação para execução das simulações que envolvam “pastagem e agricultura” através da escolha deste *Policy Instrument Setting*. O mesmo ocorre para as outras subclasses de *Specification*.

A classe *SugarCaneEthanolSpecification* herda de *CompositeSpecification* e encapsula a condição lógica de *Sugar Cane Ethanol Policy Case* da seguinte forma:

```
class SugarCaneEthanolSpecification
    extends CompositeSpecification{
    //(polCase.id == 1) : it means
        Sugar Cane Ethanol Policy Case
    @Override
    public boolean isSatisfiedBy(Object candidate) {
        PolicyCase polCase = (PolicyCase) candidate ;
        return (polCase.id == 1);
    }
}
```

Nota-se aqui a necessidade de implementação para o método *isSatisfiedBy()*, abstrato na superclasse *CompositeSpecification*, que retornará um valor “verdadeiro” se *polCase.id* for igual a 1 e “falso” caso *polCase.id* for diferente de 1. Por convenção, este valor foi atribuído ao identificador *Sugar Cane Ethanol Policy Case*. Seguindo este raciocínio, outras *Specifications* seguem a proposta original do *Specification Pattern*, com a criação de uma nova classe para cada nova especificação.

Os trechos de programação Java a seguir são exemplos de aplicação do *Specification Pattern* manifestado nas classes *IndustrialForestSpecification* e *PastureOnlySpecification*. Elas são representadas nos diagramas das classes da Figura 48 e da Figura 49.

```

class IndustrialForestSpecification
    extends CompositeSpecification {
    /*
     * (polCase.id == 2) :
     *                 it means Industrial Forest Policy Case
     */
    @Override
    public boolean isSatisfiedBy(Object candidate) {
        PolicyCase polCase = (PolicyCase) candidate ;
        return (polCase.id == 2);
    }
}

```

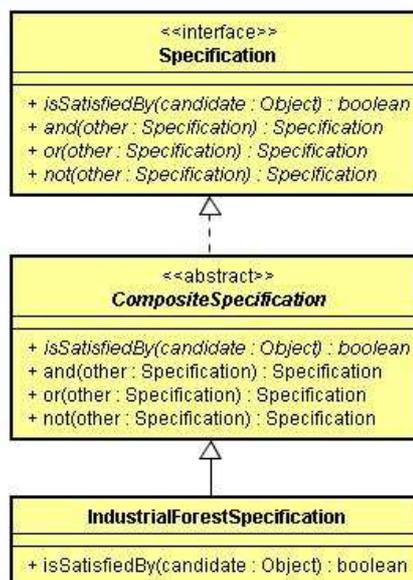


Figura 48– Diagrama com a representação lógica da classe *IndustrialForestSpecification*.

```

class PastureOnlySpecification extends CompositeSpecification {
  /*
   * (polInstrumentSetting.zonRestrictLandCover == 1) :
   *     it's a type of restriction of zoning to the covering
   *     of the land before the conversion to sugar cane
   */
  @Override
  public boolean isSatisfiedBy(Object candidate) {
    PolicyInstrumentSetting polInstrumentSetting;
    polInstrumentSetting = (PolicyInstrumentSetting) candidate;
    return (polInstrumentSetting.zonRestrictLandCover == 1);
  }
}

```

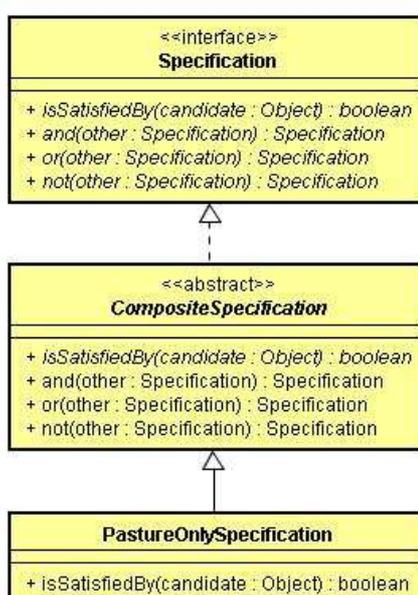


Figura 49 – Diagrama com a representação lógica da classe *PastureOnlySpecification*.

Para que uma proposta de refatoração aplicado às subclasses de *Specification* e de *DomainObject* seja considerada útil ao SIAT-TTC, é necessário que ela se baseie na transferência das responsabilidades existentes na dimensão das classes para a dimensão dos objetos que colaboram entre si. Sendo assim, a escalabilidade deixa de ser regida pela necessidade de criação de novas subclasses, estratégia que incentiva o aumento de componentes estáticos, e passa a ser regida pela criação de novas classes a partir de metaclasses, o que viabiliza a criação de novos *types (Interfaces)* com o aplicativo em tempo de execução (*on the fly*) e favorecem uma abordagem dinâmica sobre a definição do formato das classes de onde os objetos instanciados serão postos em execução.

### 5.2.3. Uso de Metaclasses

Uma readequação da classe *Specification* após refatoração cria um novo formato de construção dos seus objetos através do seguinte construtor (Figura 50):

```
public Specification( String name,
                    SpecificationUnitPart oneOperand,
                    SpecificationUnitPart otherOperand,
                    String comparator ) {...}
```

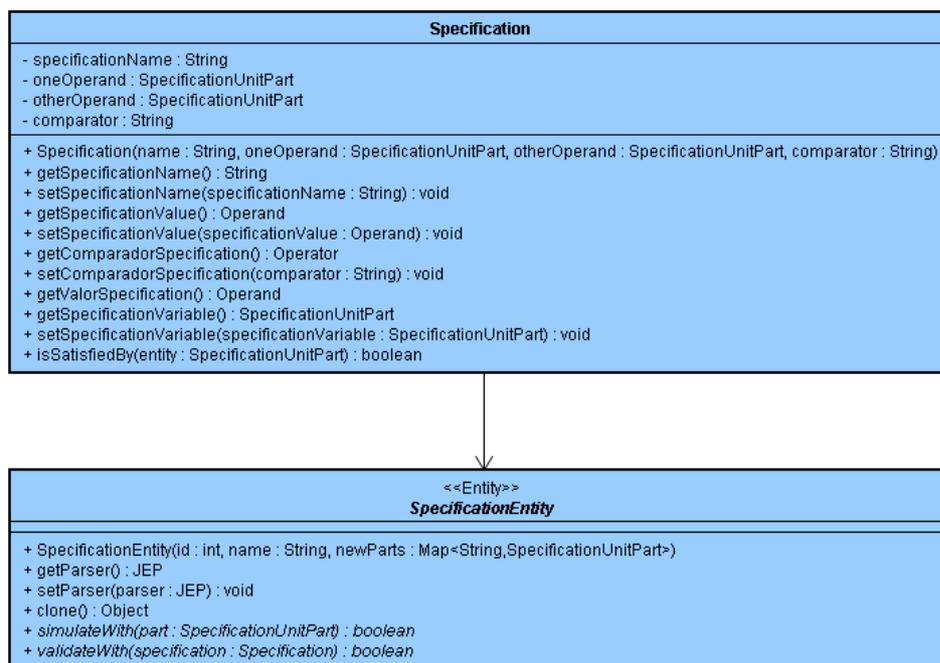


Figura 50 – Refactoring aplicado aos padrões *Specification* e *Domain Object*.

Apoiando-se nesta nova organização de classes proposta com base na refatoração dos padrões *Specification* e *DomainObject*, torna-se possível construir quaisquer combinações de entidades e regras de negócio através da simples combinação de objetos instanciados de duas classes somente: classe ***Specification*** e classe ***SpecificationEntity***. Um exemplo *hard-coded* desta nova forma de programação pode ser visto abaixo:

```
/*
 * Policy Case Specifications
 */
// (policyCaseID == 1) : it means Sugar Cane Ethanol Policy Case
SpecificationEntityFactory theFactory;
SpecificationEntity scPolCase;
```

```

SpecificationVariable variable1;
Specification conditionOfSugarCaneEthanol;

theFactory = SpecificationEntityFactory.getFactory();
scPolCase = theFactory.createEntityFrom("PolicyCasePROTOTYPE");
scPolCase.setPartName("Suggar Cane Ethanol Policy Case");
variable1 = scPolCase.getPart(scPolCase.getPartID(), "policyCaseID");

conditionOfSugarCaneEthanol =
    new Specification("Suggar Cane Ethanol Specification",
                      variable1,
                      "1",
                      "==");

// (policyCaseID == 2): it means Industrial Forest Policy Case
SpecificationEntity indForPolCase;
SpecificationVariable variable2;
Specification conditionOfIndustrialForest;

indForPolCase = theFactory.createEntityFrom("PolicyCasePROTOTYPE");
indForPolCase.setPartName("Industrial Forest Policy Case");
variable2
indForPolCase.getPart(indForPolCase.getPartID(), "policyCaseID");

conditionOfIndustrialForest =
    new Specification("Industrial Forest Specification",
                      variable2,
                      "2",
                      "==");

```

Nota-se no trecho de programação Java acima que duas *Specifications* foram criadas a partir de duas variáveis distintas, cada qual originada de sua entidade.

Outra configuração possível é o compartilhamento por duas *Specifications* de uma mesma variável originada de uma só entidade, situação que ocorre, por exemplo, numa entidade *InstrumentSetting*, cujos objetos também sempre são criados a partir das mesmas classes *Specification* e *SpecificationEntity*:

```

/*
 * (varZonRestricLandCover == 1) :
 *   it's one option of restriction of zoning to the covering
 *   of land before the conversion to sugar cane
 */
SpecificationEntity policyInstrumentSetting;
SpecificationVariable varZonRestricLandCover;

policyInstrumentSetting =
    theFactory.createEntityFrom("PolicyInstrumentSettingPROTOTYPE");
policyInstrumentSetting.setPartName("Instrument Setting");
varZonRestricLandCover =
policyInstrumentSetting.getPart(policyInstrumentSetting.getPartID(),
                                "zonRestricLandCover");
Specification conditionOfPastureOnly =

```

```

        new Specification("Pastures Only Specification" ,
                        varZonRestrictLandCover ,
                        "1" ,
                        "==" );
    /*
    * (varZonRestrictLandCover == 2) :
    *   it's another option of restriction of zoning to the covering
    *   of land before conversion to sugar cane using the same
    *   varZonRestrictLandCover variable.
    */
Specification conditionOfPasturesAndCrops =
    new Specification("Pastures and Crops Only Specification" ,
                    varZonRestrictLandCover ,
                    "2" ,
                    "==" );

```

#### 5.2.4. Inclusão das especificações no processo de *parsing* ou Análise Gramatical

A classe `PostfixMathCommand` do parser matemático JEP oferece a oportunidade de descrição de novas funções a partir da criação de subclasses que processam os valores passados ao método `public void run(Stack inStack) throws ParseException` através de parâmetros empilhados no argumento `inStack`.

A variável de instância chamada `numberOfParameters`, definida na classe `PostfixMathCommand`, estabelece a quantidade máxima de parâmetros permitida para empilhamento e processamento.

Quando uma nova subclasse de `PostfixMathCommand` é criada, chamada `SpecificationFunction`, por exemplo, torna-se possível sobrescrever o método `void run(Stack inStack)`, o que possibilita transformá-lo num método capaz de realizar os testes condicionais de uma determinada `Specification`. Isso faz com que objetos instanciados a partir de `SpecificationFunction` sejam identificados pelo parser JEP como se fossem novas funções a serem executadas com base no reconhecimento de strings gravadas em banco de dados e utilizadas pelo aplicativo SIAT-TTC no momento oportuno.

<<JEP Function>> SpecificationFunction
- theConditionOfSpecification : Specification - theEntity : SpecificationUnitPart
+ FunctionAsSpecification(specName : String, theEntity : SpecificationUnitPart, oneOperand : SpecificationUnitPart, otherOperand : SpecificationUnitPart, theComparator : String) + run(inStack : Stack) : void + getTheConditionOfSpecification() : Specification + setTheConditionOfSpecification(theConditionOfSpecification : Specification) : void + getTheEntity() : SpecificationUnitPart + setTheEntity(theEntity : SpecificationUnitPart) : void

Figura 51 – Exemplo de nova subclasse de `PostfixMathCommand`, a classe `SpecificationFunction`.

Com a programação abaixo, uma nova função é disponibilizada ao parser matemático JEP:

```
factory = SpecificationEntityFactory.getFactory();
parser = new JEP();
entity = factory.createEntityFrom("PolicyInstrumentSettingPROTOTYPE");
variable =
    oneEntity.getPart(oneEntity.getPartID(), "zonRestricLandCover");

//configure an entity as new variable into JEP.
parser.addVariable("PolicyInstrumentSetting", entity);

function = "conditionOfPastureOnlyINTO(PolicyInstrumentSetting)"

//configure new function into JEP.
parser.addFunction(
    function,
    new SpecificationFunction(
        "Pastures Only Specification",
        entity,
        oneVariable,
        "1",
        "=="
    )
);
// Parse the expression
n = (ASTFunNode) parser.parse(function);
// Get the result
result = parser.evaluate(n);
```

Esta nova abordagem permite reescrever Funções Resposta com aumento da sua semântica para o funcionamento da estrutura causa / efeito da ferramenta de apoio a decisão.

Através da manifestação de uma Specification Function, que é o encapsulamento da condição que funciona como artefato de causa da estrutura causa/efeito existente em uma Função Resposta, é possível cadastrar as “causas” em uma nova tabela do banco de dados, independentemente dos “efeitos” propagados (respostas) para cada região.

Seguindo este raciocínio, o exemplo de *Função Resposta* sem utilização de uma *Specification Function* é mostrado abaixo:

```
if ((FIN_MSUP==1)&&(FIN_RND==1),
    2551.365912+(-44.562396)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(1.511714)*FIN_DSUP,
    0
)+ if(
```

```

    (FIN_MSUP==2)&&(FIN_RND==1),
    2566.158514+(-44.666928)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(1.256867)*FIN_DSUP,
    0
)+ if(
    (FIN_MSUP==1)&&(FIN_RND==2),
    2508.777219+(-0.787763)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(0.932925)*FIN_DSUP,
    0
)+ if(
    (FIN_MSUP==2)&&(FIN_RND==2),
    2520.788297+(0.787715)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(-0.759845)*FIN_DSUP,
    0
)

```

SIEBER et al (2008) afirmam que (FIN\_MSUP==1)&&(FIN\_RND==1) representa uma das várias combinações possíveis para seleção das opções de tela do aplicativo SIAT que variam entre:

- (a) direct support and market support 'off' / R&D 'off'
- (b) direct support and market support 'on' / R&D 'on'
- (c) direct support and market support 'off' / R&D 'on'
- (d) direct support and market support 'on' / R&D 'off'

Quando um novo objeto do tipo *SpecificationFunction* é disponibilizado para uso através do *parser* JEP torna-se possível reescrever a Função Resposta exibida acima da seguinte maneira:

```

if ( MarketSupportAs(PolicyInstrumentSetting) &&
      ReinvestmentResearchDevelopmentAs(PolicyInstrumentSetting),
      2551.365912+(-44.562396)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(1.511714)*FIN_DSUP,
      0
)+ if(
      NoMarketSupportAs(PolicyInstrumentSetting) &&
      ReinvestmentResearchDevelopmentAs(PolicyInstrumentSetting),
      2566.158514+(-44.666928)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(1.256867)*FIN_DSUP,
      0
)+ if(
      MarketSupportAs(PolicyInstrumentSetting) &&
      NoReinvestmentResearchDevelopmentAs(PolicyInstrumentSetting),
      2508.777219+(-0.787763)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(0.932925)*FIN_DSUP,
      0
)+ if(
      NoMarketSupportAs(PolicyInstrumentSetting) &&
      NoReinvestmentResearchDevelopmentAs(PolicyInstrumentSetting),
      2520.788297+(0.787715)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(-0.759845)*FIN_DSUP,
      0
)

```

O formato apresentado acima agrega semântica à criação das Funções Resposta na medida em que o uso do *Specification Pattern* expõe com clareza a condição que define o valor retornado como resposta. Apesar disso, este mesmo formato dificulta atualizações futuras das Funções Resposta que acumulam em uma só string todas as combinações possíveis de seleção de opções na GUI do SIAT-TTC. O exemplo mostra quatro combinações:

- (a) `(FIN_MSUP==1)&&(FIN_RND==1),`
- (b) `(FIN_MSUP==1)&&(FIN_RND==2),`
- (c) `(FIN_MSUP==2)&&(FIN_RND==1),`
- (d) `(FIN_MSUP==2)&&(FIN_RND==2).`

Essas combinações são fortemente dependentes do operador ternário “IF” existente no *parser* matemático JEP, onde o primeiro parâmetro apresenta o teste condicional realizado, o segundo parâmetro apresenta o valor retornado caso o teste condicional tenha resultado verdadeiro e o terceiro parâmetro apresenta o valor retornado caso o teste condicional tenha resultado falso.

A atual organização das funções resposta sugere que apenas um dos testes condicionais seja aprovado, fazendo com que os demais falhem e retornem um valor igual a zero (0), onde sua soma com o valor de resposta do teste condicional aprovado não interfere no resultado final do processamento da função resposta.

Uma proposta para melhorar o formato da estrutura das funções de resposta é o desacoplamento das combinações das opções. Isto é possível através da criação de um novo esquema de tabelas de banco de dados, representados na Figura 52.

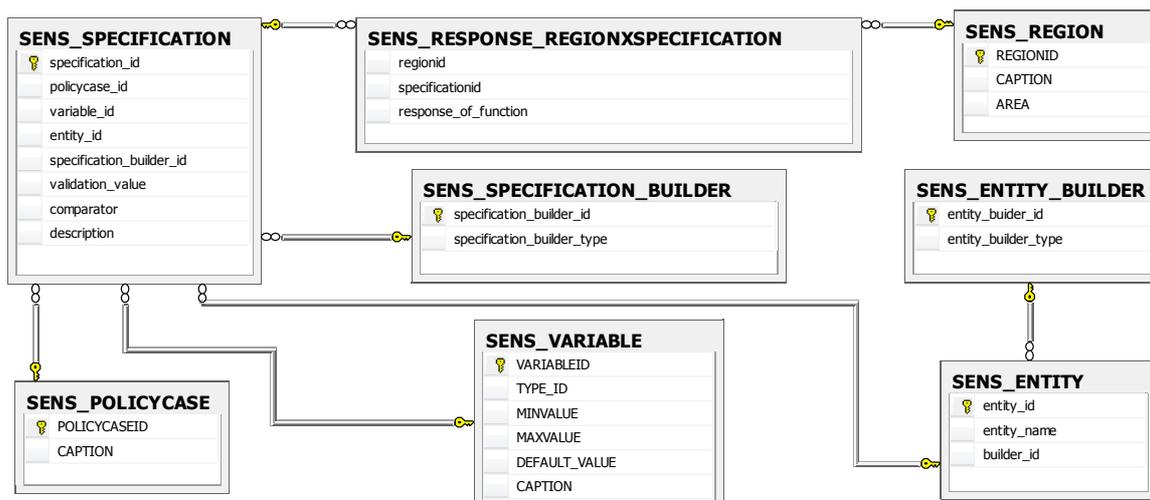


Figura 52 – Esquema de tabelas como proposta de evolução no protótipo SIAT-TTC.

Após criação da tabela `SENS_VARIABLEEXTYPE` com os campos `variable_type_id` e `variable_type_description`, criam-se os registros exibidos na Tabela 7.

Tabela 7 – Registros da tabela `SENS_VARIABLEEXTYPE`

variable_type_id	variable_type_description
1	intermediate
2	indicator01
3	parameter

Verifica-se que `variable_type_id` com valor igual a “um” passa a representar uma variável do tipo intermediária, assim como seu valor igual a “dois” representa uma variável do tipo indicador e o valor igual a “três” representa uma variável do tipo parâmetro.

Assim como ocorre com *funções resposta* e *funções indicador*, que são gravadas como strings em tabelas do banco de dados, conclui-se que as especificações do aplicativo também são elementos passíveis de gravação em banco de dados e de reconhecimento pelo *parser* JEP a partir da consulta às novas tabelas chamadas `SENS_SPECIFICATIONS`, `SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION`, `SENS_ENTITY`, `SENS_ENTITY_BUILDER` e `SENS_SPECIFICATION_BUILDER`.

Sendo assim, cada combinação de opções (Specification) da tela do SIAT-TTC fica armazenada na nova tabela SENS\_SPECIFICATIONS e possui um SPECIFICATION\_ID que a representa tal como mostrado na Figura 53.

SPECIFICATION_ID	POLICYCASE_ID	VARIABLE_ID	ENTITY_...	SPECIFICATION_BUILDER_ID	VALIDATION_VALUE	COMPARATOR	DESCRIPTION
1	1	SUG_CANE	ZonRestLC	1	1	==	PasturesOnlyAs(PolicyInstrumentSetting)
2	2	SUG_CANE	ZonRestLC	1	1	==	PasturesAndCropsOnlyAs(PolicyInstrumentSetting)
3	3	POL_FIN	FIN_RND	1	1	==	ReinvestmentResearchDevelopmentAs(PolicyInstrumen...
4	4	POL_FIN	FIN_RND	1	1	==	NoReinvestmentResearchDevelopmentAs(PolicyInstru...
5	5	POL_FIN	FIN_RND	1	1	==	MarketSupportAs(PolicyInstrumentSetting)
6	6	POL_FIN	FIN_RND	1	1	==	NoMarketSupportAs(PolicyInstrumentSetting)

Figura 53 – Estrutura da tabela SENS\_SPECIFICATIONS com a descrição das combinações possíveis de Opções de Política.

Por exemplo, é possível perceber que a variável ZonRestLC (campo *variable\_id*) quando comparada (campo *comparator*) com o valor igual a “um” (campo *validation\_value*), assume o significado presente no campo *description* do tipo *PastureOnlyAs(PolicyInstrumentSetting)* como resultado da seleção da opção equivalente na tela do aplicativo SIAT-TTC. Cada resposta a uma determinada função resposta, que varia para cada região, fica armazenada no campo *response\_of\_function* na tabela SENS\_RESPONSE\_REGIONXSPECIFICATION, como mostra a Figura 54.

regionid	specificationid	response_of_function
1	1	2551.365912+(-44.562396)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(1.511714)*FIN_DSUP
2	2	2520.788297+(0.787715)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(-0.759845)*FIN_DSUP
3	3	2566.158514+(-44.666928)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(1.256867)*FIN_DSUP
4	4	2508.777219+(-0.787763)*FIN_DSUP+FIN_DSUP*(0.932925)*FIN_DSUP

Figura 54 – Estrutura da tabela SENS\_RESPONSE\_REGIONXSPECIFICATION, que contém as respostas das funções para todas as opções de política, por Região de Interesse.

### 5.3. Uso de estilo arquitetural com Modelos de Objetos Adaptáveis

*Adaptive-Object Model* (YODER et al., 2001) é um tipo de estilo arquitetural que guarda na camada de persistência as regras de negócio ou modelo de domínio separados do código do programa. Neste estilo arquitetural, o código do aplicativo serve apenas como uma espécie de “cola” que junta partes integrantes do modelo de domínio e o traz para um formato executável. O Modelo de domínio é

armazenado em um banco de dados externo ou em arquivos XML. Adaptive Object Model pode ser visto como uma forma de *Domain-Specific Language* (FOWLER, 2009b) e (FOWLER, 2009d) que se apóia em *dependency injection* (FOWLER, 2009c) para reconciliar o código do programa e o modelo de domínio externamente representado.

A justificativa para o uso de um *Adaptive Object-Model Architectural Style* (YODER & JOHNSON, 2002) baseia-se em primeiro lugar e acima de tudo na obtenção de maior resiliência agregada ao aplicativo SIAT-TTC, bem como na busca por maior escalabilidade na inclusão de novas configurações de instrumentos de política, sem a perda do enfoque semântico muito atuante num *Domain-Driven Design*, com a possibilidade de que através da transferência dessa característica para a camada de persistência, as inclusões de novas configurações dos instrumentos não necessitem de uma readequação das Interfaces Gráficas com o Usuário a cada nova experiência realizada de um processo de transferência de tecnologia.

### 5.3.1. O padrão *TypeObject*

O padrão *TypeObject* estabelece uma forma para definir dinamicamente novas entidades de negócio para um sistema (YODER, 2002). O padrão *TypeObject* é usado para separar uma "entidade" do seu "tipo", usando composição semântica no lugar do que seria um par de superclasse e subclasse, abrindo mão do mecanismo de herança da orientação a objetos.

Como exemplo, a Figura 55 e a Figura 56 apresentam de forma comparativa dois diagramas de classes usando respectivamente o padrão *DomainObject* e o padrão *TypeObject*.

O uso do padrão *DomainObject* requer a presença de cinco classes para a representação das semânticas *DomainObject* (superclasse), *Indicator*, *Region*, *Regions* e *CoreRegion*. Com a implementação baseada no padrão *TypeObject*, apenas duas classes são necessárias para realizar a mesma manifestação semântica.

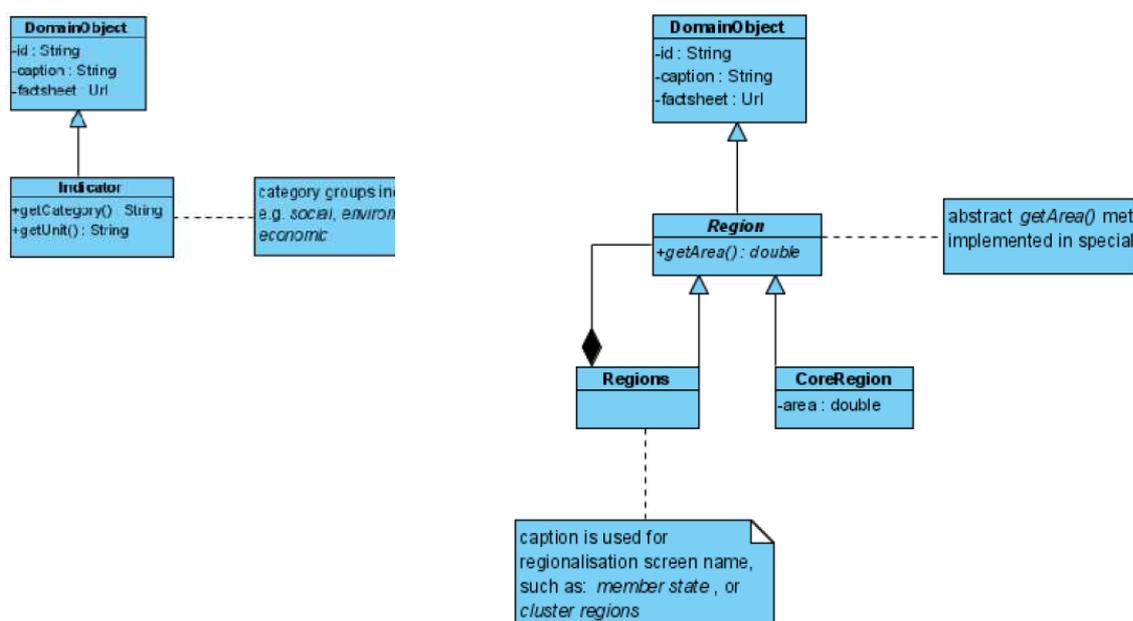


Figura 55 – Diagrama de Classes baseado no padrão DomainObject.

Com a necessidade de manipulação de entidades compostas, aplicou-se o padrão *Composite* (GAMMA et al., 2000) para permitir que tanto entidades simples quanto entidades compostas tenham um tratamento padronizado e de forma transparente. As classes *SpecificationUnitPart*, *SpecificationVariable*, *SpecificationEntity*, *SpecificationEntityLeaf* e *SpecificationEntityComposite*, quando combinadas, permitem que os objetos delas instanciados formem uma árvore com base na combinação de várias entidades, capaz de validar os valores de suas variáveis bem como aplicar as simulações necessárias (Figura 57).

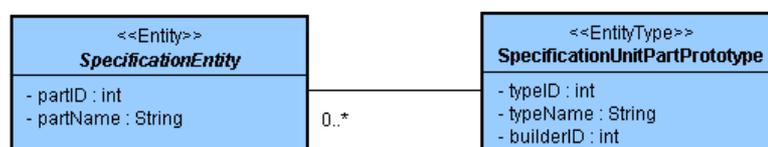


Figura 56 – Diagrama de classes com o esquema arquitetural do padrão *TypeObject*

Ao contrário de linguagens dinâmicas ou com tipos dinâmicos como Python<sup>35</sup> e Ruby<sup>36</sup>, Java é considerada uma linguagem estática ou com tipos estáticos, onde é necessário estabelecer os *Types* (Interfaces) antes da compilação e execução do

<sup>35</sup> <http://www.python.org/>

<sup>36</sup> <http://www.ruby-lang.org/>

aplicativo. Desta forma utiliza-se em Java o padrão *Prototype* (GAMMA et al., 2000) para emular (“imitar”) o funcionamento de um mecanismo de metaclasses existente em linguagens dinâmicas, onde o primeiro objeto instanciado a partir de uma classe é considerado um protótipo dos objetos posteriormente criados.

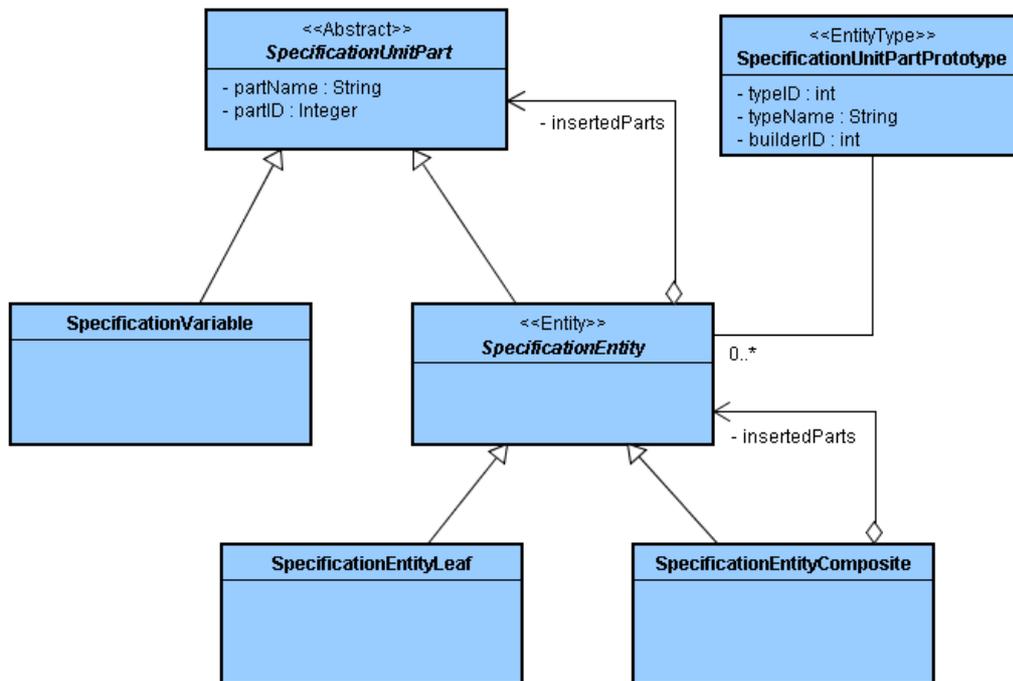


Figura 57 – Uso do padrão *Composite* para manipular combinações entre entidades.

Os objetos seguintes são clonados a partir desse primeiro objeto instanciado, o que possibilita um considerável aumento de desempenho do aplicativo já que a clonagem dos objetos ocorre na memória. O método usado para clonagem de objetos é o método *clone*, herdado da superclasse *Object* e sobrescrito (*overriding*) nas subclasses de *SpecificationUnitPart* (Figura 58).

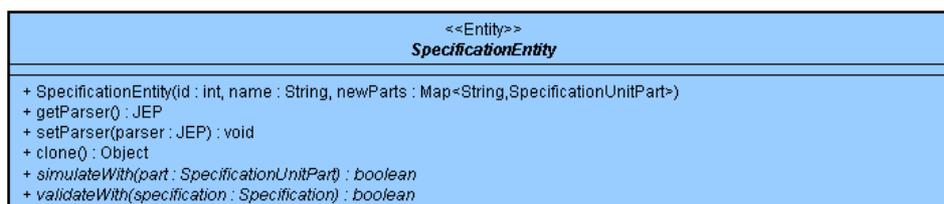


Figura 58 – *Overriding* do método *clone()* herdado da superclasse *Object*

Diante de várias formas de construção das entidades, que podem variar entre entidades simples e entidades compostas, surge a oportunidade de uso do padrão *Builder* (GAMMA et al., 2000), com a possibilidade de construção de objetos de entidade, de forma padronizada, independentemente do seu grau de composição, através do uso dos seguintes métodos polimórficos:

- `buildScale(id : int, name : String) : void`
  - Define se será construído uma *Leaf* ou um *Composite*
- `buildChildren(newParts:ArrayList<SpecificationUnitPart>):void`
  - Constrói as partes de um *SpecificationUnitPart*. No caso de uma Entidade Simples, as partes construídas são variáveis. No caso de uma Entidade Composta, as partes construídas são outras Entidades, sejam Simples ou Compostas, recursivamente até completar a construção de uma árvore com várias *SpecificationUnitPart*
- `getResult() : SpecificationUnitPart`
  - Obtém o resultado da execução seqüencial dos dois métodos acima cujo formato descreve uma árvore com várias *SpecificationUnitPart*.

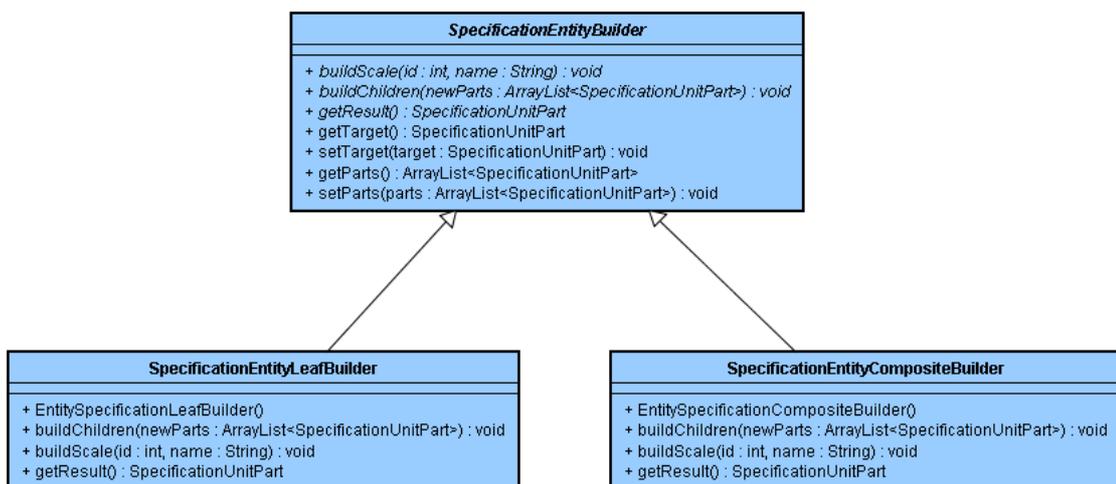


Figura 59 – Diagrama de classes usando o padrão *Builder*

Com esta abordagem, torna-se possível resolver a questão da organização sobre o relacionamento interno de um modelo isolado. Porém, ainda restaria obter

formas de ligação entre dois ou mais modelos, ou seja, a questão da organização externa entre modelos. Para alcançar este objetivo, foi utilizado o padrão OpenMI, que é abordado na seção seguinte.

### 5.3.1. Uso do *Open Modeling Interface* na arquitetura proposta

A padronização de interfaces de modelos torna tecnicamente possível a troca de um modelo por outro, em tempo de execução. O padrão aberto utilizado é o *European Open Modeling Interface* (OpenMI). OpenMI define as interfaces de software e oferece documentação sobre como usá-los, além de ter uma implementação de referência, tanto no Microsoft C#.NET Framework quanto em código-fonte livre na linguagem Java. O *framework* OpenMI é usado por uma grande comunidade internacional (dentro e fora da Europa) e está em constante desenvolvimento no âmbito supervisionado pela associação OpenMI<sup>37</sup>.

Cada modelo (por exemplo, modelo de Resposta de Função, ou Modelo Regra Indicador) é acondicionada dentro de uma interface padronizada chamada *LinkableComponent*. *LinkableComponents* podem ser ligados uns aos outros formando uma **cadeia de modelos**. Na terminologia OpenMI, uma cadeia de modelos é conhecida como uma composição de *LinkableComponents*. A Figura 60 mostra como um *LinkableComponent* (por exemplo, A, o modelo de função de uso da terra), pode solicitar os valores calculados a partir de outro *LinkableComponent* (por exemplo B, o modelo de Estado indicador).

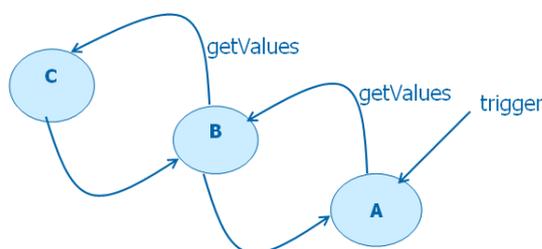


Figura 60 – Composição de *LinkableComponents*

Fonte: VERWEIJ, et. al, 2008

<sup>37</sup> [www.openmi.org](http://www.openmi.org)

Um *LinkableComponent* do OpenMI é uma interface que guarda dentro de si um modelo padrão. Cada *LinkableComponent* declara suas necessidades de entrada e de saída através de uma interface padrão chamada *ExchangeItem*.

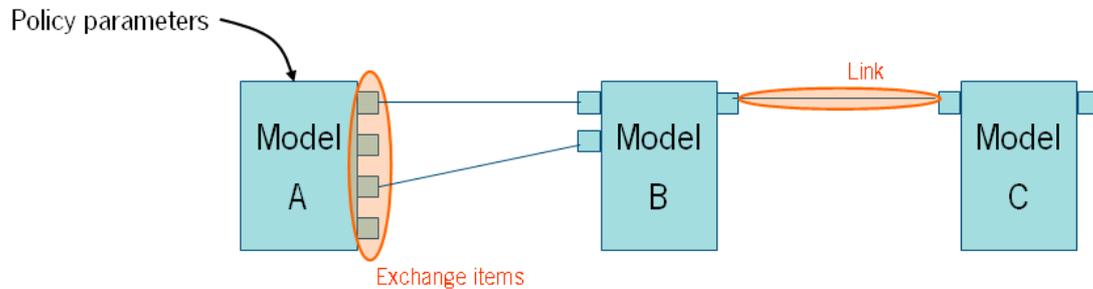


Figura 61 – Troca de valores e conexões entre modelos  
Fonte: VERWEIJ, et. al, 2008.

Um *ExchangeItem* descreve quais os dados deverão ser disponibilizados como entradas e saídas de um modelo, como pode ser visto na Figura 61.

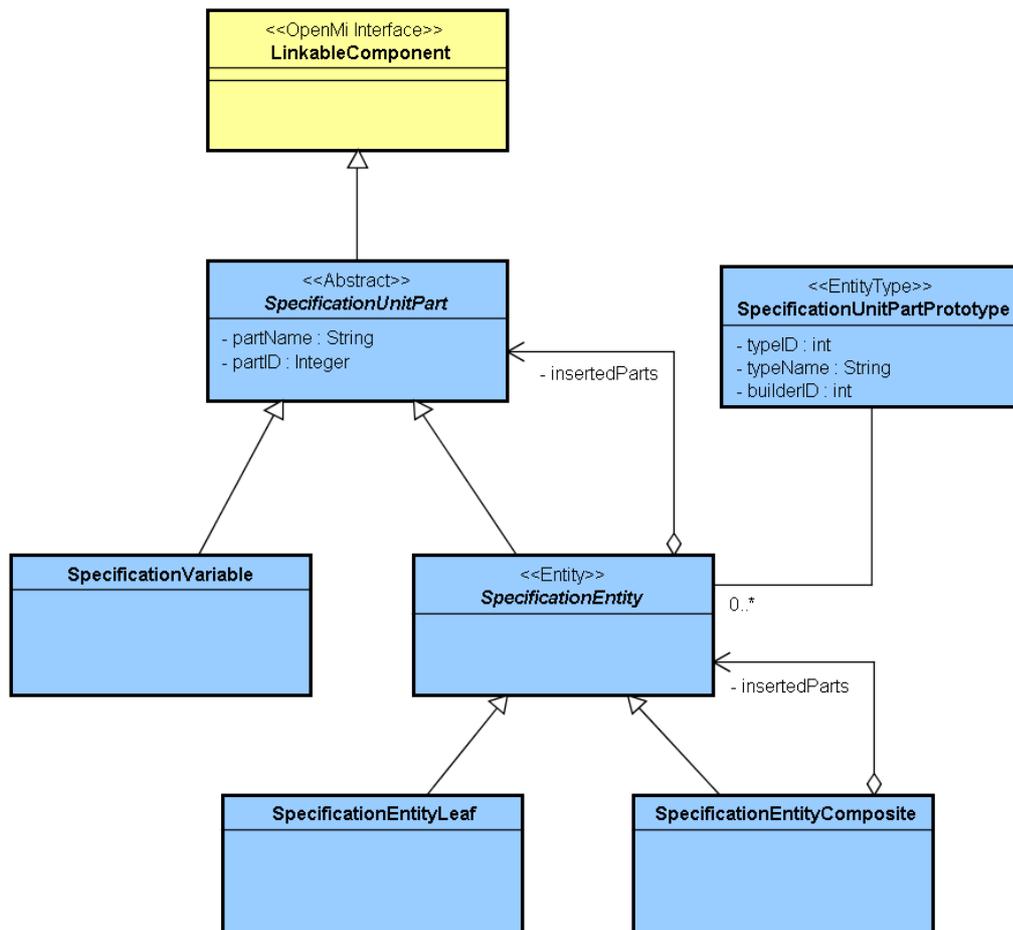


Figura 62 – Habilitando a conectividade entre entidades de modelos diferentes

Dentro da solução proposta, o OpenMI é utilizado através da herança entre a interface *LinkableComponent* e a classe abstrata *SpecificationUnitPart* como mostra a Figura 62.

## 6. Avaliação da Solução

O presente trabalho se concentrou na concepção e construção de uma abordagem que viabilizasse a integração dos resultados alcançados a partir do processo de monitoramento de mudança de uso e cobertura do solo (seção 3.1) com o objetivo de se obter uma estrutura capaz de viabilizar avaliações da sustentabilidade com a participação efetiva de especialistas de áreas de atuação como a estatística, geografia, geoprocessamento, zoneamento topobioclimático de espécies florestais e hidrologia florestal.

Em cenários de mudanças climáticas deve-se disponibilizar ao poder público, à comunidade científica e à sociedade em geral ferramentas que possam fornecer informações de forma ágil, com fácil percepção e acesso globalizado. O uso de modelos matemáticos que descrevem o padrão de impactos ou de sustentabilidade frente à mudança do uso e cobertura do solo, bem como processos econômicos e respostas sociais, podem auxiliar de forma simples as avaliações da ecoeficiência de uma determinada política pública atrelada.

Com o objetivo da validação da solução proposta neste trabalho, procurou-se dividir o processo de avaliação em três tópicos:

- 1) Obtenção de uma taxa de avanço representativa, derivada das alterações de uso e cobertura da terra na região de estudo, a Bacia do Alto Taquari - MS, a partir de mapas extraídos de execuções sucessivas de *workflows* científicos do período compreendido entre a safra 2000-2001 e 2007-2008, utilizando a classificação de referência do ano 2000 de SILVA (2003). Os resultados alcançados a partir de séries temporais MODIS podem ser observados na seção 7.1;
- 2) O potencial de uso foi testado em função da proposta de integração entre os projetos ENVIAIR e SENSOR frente ao uso da solução de *workflow* científico, aplicável ao primeiro projeto, agregada ao uso da solução da ferramenta SIAT-TTC, evoluída a partir da ferramenta SIAT original e aplicável no segundo projeto. A usabilidade foi caracterizada a partir de

dados qualitativos extraídos do preenchimento de um questionário (seção 6.1) por especialistas envolvidos no processo de monitoramento da mudança de uso e cobertura da terra e avaliação dos impactos na sustentabilidade;

- 3) A contribuição na linha de Sistemas de Informação dentro da perspectiva de estudo de modelos adaptáveis e *workflows* científicos foi evidenciada com a implementação da ferramenta proposta. Este tópico foi avaliado também de forma qualitativa com o preenchimento de um segundo questionário (seção 6.1), desta vez por especialistas em *workflow*.

## 6.1. Material e Métodos

Desde o início deste trabalho, um dos principais objetivos foi permitir que experiências realizadas por especialistas distintos sobre monitoramentos de mudança de uso do solo fossem trocadas. Para este esforço, as avaliações se concentraram em questões sobre o uso do subsistema gerenciador de *workflows* (seção 4.1.1.1), bem como a disseminação dos conhecimentos construídos a partir do seu uso (seção 2.7).

Dentro do contexto específico do projeto ENVIAIR, existiu o objetivo principal de se obter uma contagem a partir da classificação dos pixels através do processo descrito no subitem 3.1. Foram adquiridos 22 Gigabytes em arquivos de imagens MODIS do produto MOD13Q1, com resolução de 250 metros, relativas aos anos agrícolas de 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007 e 2007-2008 especificamente sobre o *tile h12v10* (seção 3.1.1), ou seja, para a localização da Bacia do Alto Taquari (BAT), Mato Grosso do Sul.

Estes dados foram trabalhados através do subsistema gerenciador de *workflows*, apoiado na plataforma de processamento de dados do sensor MODIS (subitem 3.2). A partir da contagem dos pixels modificados, obtiveram-se as taxas de avanço das classes *agricultura*, *pastagem*, *cerrado* e *área urbana* para a região da BAT, com o intuito da obtenção de novos modelos para alimentação da ferramenta SIAT-TTC, como é descrito na seção 7.1.

O projeto SENSOR reuniu, por outro lado, as demandas específicas de avaliação os impactos da sustentabilidade de políticas da mudança do uso da terra através dos modelos dinâmicos integrados, focalizando a avaliação da política de expansão de colheitas de cana-de-açúcar e da política concentrada na expansão da floresta plantada.

Com o intuito de se obterem avaliações sobre o uso da arquitetura proposta foram criados dois questionários. O primeiro questionário foi direcionado aos pesquisadores envolvidos com os projetos ENVAIR e SENSOR. Através das respostas obtidas, objetivou-se caracterizar a importância desta proposta dentro do contexto das avaliações de impactos de mudança de uso e cobertura do solo.

As questões subjetivas concentraram-se em informações a respeito dos pesquisadores, tais como *procedência, especialidade, titulação e área de atuação do pesquisador*, num total de 8 (oito) especialistas, sendo 4 (quatro) com mestrado e 4 (quatro) com doutorado. A questão sobre a caracterização da(s) etapa(s) do processo em que o especialista está envolvido (Tabela 8) ofereceu opções de resposta entre *obtenção e preparação dos dados, classificação das imagens, análise das estatísticas de uso e avaliação do impacto na sustentabilidade*.

Tabela 8 - Questões subjetivas respondidas por especialistas em monitoramento de mudança de uso e cobertura da terra e avaliadores do impacto na sustentabilidade

Questão	Tipo Resposta
Procedência (país / estado / cidade )	Subjetiva
Especialidade do Respondente	Subjetiva
Titulação do Respondente	Subjetiva
Área de Atuação do Respondente	Subjetiva
Etapa(s) do processo em que o Respondente está envolvido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtenção e Preparação dos Dados (inclusive Imagens)</li> <li>• Classificação das Imagens</li> <li>• Análise das Estatísticas de Uso</li> <li>• Avaliação do Impacto na Sustentabilidade</li> </ul>

Participaram do preenchimento do segundo questionário especialistas nas ferramentas de *workflow* VisTrails, Kepler e Taverna, num total de 4 (quatro) profissionais com mestrado, sendo um deles com o doutorado em andamento, e

ainda um especialista com bacharelado. Este questionário contou com duas questões subjetivas, que versavam sobre a *titulação do especialista* e a *ferramenta* na qual o profissional se especializou (Tabela 9).

Tabela 9 - Questões subjetivas direcionadas aos especialistas em *workflows*.

Questão	Respostas possíveis
Titulação	Subjetiva
Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual é especialista	Subjetiva

## 6.2. Descrição

Além das questões subjetivas que buscaram caracterizar o perfil dos especialistas envolvidos no preenchimento dos questionários de avaliação, outras 12 (doze) questões seguiram normas da escala LIKERT (REA & PARKER, 2000), com o intuito de se obter a intensidade da opinião dos participantes da pesquisa observada, obedecendo a 5 (cinco) níveis de intensidade através das seguintes respostas: *Não concordo totalmente*, *Não concordo parcialmente*, *Indiferente*, *Concordo parcialmente*, *Concordo totalmente*. A pontuação de cada uma das respostas apresentadas varia, respectivamente, entre 1, 2, 3, 4 e 5 como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 – Questões apoiadas na escala Likert, direcionadas aos especialistas em monitoramento de mudança de uso e cobertura da terra e avaliadores do impacto na sustentabilidade

	Questão	Polaridade Semântica
1	Apenas os scripts na execução de cadeias de tratamento de imagens de satélites MODIS 5.0 dificultam as avaliações de mudança do uso e cobertura do solo e inviabilizam o processo de monitoramento nas áreas de expansão agrícola.	Positiva
2	O workflow desenvolvido permitiu agilidade no processo de avaliação do avanço de áreas plantadas com cana-de-açúcar a	Positiva

	partir do ano agrícola 2001-2002 até 2008-2009.	
3	O workflow desenvolvido auxiliou o desenvolvimento de trabalhos pela web no tratamento de diferentes áreas de interesse aumentando a capacidade de monitoramento em áreas sensíveis frente a uma pressão de uso e cobertura do solo.	Positiva
4	O uso de proveniência no workflow desenvolvido aumenta a rastreabilidade em monitoramentos de campo, áreas de produção agrícola, desmatamento e áreas legalmente protegidas.	Positiva
5	O uso de um workflow científico no tratamento de imagens MODIS 5.0 para o monitoramento de uso e cobertura do solo facilita o compartilhamento e descrição dos estudos realizados por especialistas da área ambiental.	Positiva
6	A solução proposta (workflow) colabora com o fornecimento de informações atualizadas de uso e cobertura do solo aumentando a eficiência do processo de modelagem ambiental.	Positiva
7	Houve aumento na confiabilidade dos produtos gerados ao longo do processamento de imagens e classificação quanto ao uso e cobertura do solo devido à incorporação de mecanismos de rastreabilidade dos monitoramentos e estratégias de avaliações de condições de áreas em vias de degradação no Brasil.	Positiva
8	A integração das respostas de uso e cobertura do solo monitoradas pelo MODIS ao gerenciamento de modelos de programação linear recursiva é fator determinante no contexto de simulações ambientais.	Positiva
9	Os produtos obtidos a partir das imagens MODIS 5.0 são facilmente integrados em uma ferramenta de avaliação de Impacto de mudança de uso e cobertura do solo para políticas públicas no Mercosul.	Positiva
10	As taxas de mudança de uso servem como "inputs" para as avaliações na ferramenta SIAT-TTC e, portanto, as soluções possuem forte aderência no processo de investigações	Positiva

	ambientais.	
11	Foi possível avaliar a transferibilidade da ferramenta SIAT desenvolvida pela União Européia a partir de conhecimentos em TI no âmbito de condicionantes específicas para o Mercosul.	Positiva
12	O protótipo SIAT-TTC é uma ferramenta em desenvolvimento, mas apresenta potencial para avaliar políticas públicas e análise de cenários.	Positiva

Assim como o primeiro questionário, o segundo buscou a caracterização da intensidade sobre opinião dos participantes, desta vez com questões voltadas para suas percepções sobre a importância de características como o uso de dados do tipo MIME para a comunicação entre *workflows*, armazenamento dos metadados sobre tarefas, parâmetros e conexões entre tarefas de um *workflow*, bem como registros da proveniência a partir de mudanças de estado sofridas pelos produtos gerados na execução de um *workflow*, como se observa na Tabela 11.

Tabela 11 - Questões apoiadas na escala Likert, respondidas por especialistas nas ferramentas de *workflow* VisTrails, Kepler e Taverna

	Questão	Polaridade Semântica
1	A Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual o profissional é especialista oferece suporte completo ao intercâmbio de dados do tipo MIME ( <i>Multipurpose Internet Mail Extensions</i> ).	Positiva
2	A Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual o profissional é especialista permite que subartefatos componentes do <i>Workflow</i> , tais como tarefas, parâmetros e conexões entre parâmetros e tarefas sejam gerenciados e transferidos pela rede de forma independente dos demais componentes do <i>Workflow</i> descrito.	Positiva
3	A Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual o profissional é especialista oferece pelo menos um recurso para buscas por sub-artefatos	Positiva

	componentes do <i>Workflow</i> , tais como tarefas, parâmetros e conexões entre parâmetros e tarefas através de metadados.	
4	A Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual o profissional é especialista oferece mecanismos de proveniência acionados a partir de eventos de execução de tarefas.	Positiva
5	A Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual o profissional é especialista oferece mecanismos de proveniência acionados a partir das mudanças de estado sofridas pelos produtos gerenciados pela execução de tarefas, mudanças derivadas de ações do tipo CRUD ( <i>Create, Read, Update e Delete</i> )	Positiva
6	Na hipótese de integração entre a Ferramenta na qual o profissional é especialista e outras Ferramentas de <i>Workflow</i> , a conciliação entre suas linguagens para especificação do uso dos motores ocorreria com facilidade.	Positiva
7	Na hipótese de integração entre a Ferramenta na qual o profissional é especialista e outras Ferramentas de <i>Workflow</i> , o gerenciamento através de partes componentes em substituição ao gerenciamento do <i>Workflow</i> na íntegra, ou seja, o gerenciamento através de tarefas, parâmetros e conexões entre parâmetros e tarefas facilitaria a conciliação entre suas linguagens para especificação do uso de ambos os motores.	Positiva
8	Na hipótese de reuso de um <i>Workflow</i> descrito pela Ferramenta na qual o profissional é especialista, a Ferramenta em questão viabilizará a reprodução parcial entre cientistas, ou seja, reprodução somente de partes componentes como tarefas, parâmetros, e conexões entre parâmetros e tarefas.	Positiva
9	A Ferramenta de <i>Workflow</i> na qual o profissional é especialista oferece suporte ao gerenciamento de Modelos de Programação Linear Recursiva.	Positiva

Pelo fato de os especialistas envolvidos na avaliação da proposta atuarem em regiões geograficamente distantes, foi aplicado um modelo de questionário publicado pela *web* para apurar as contribuições desta abordagem com base em perguntas voltadas para a avaliação da arquitetura proposta no capítulo 4. A aplicação das entrevistas foi viabilizada através do uso do serviço *google docs* (

Figura 63) para criação dos formulários que continham os questionários respondidos pelos participantes.



Figura 63 – Serviço *Google Docs*

Com o preenchimento dos questionários, suas respostas foram acumuladas em planilhas do mesmo serviço *google docs* (Figura 64), permitindo que os seus resultados fossem publicados imediatamente após a conclusão do preenchimento por cada uma dos especialistas envolvidos.

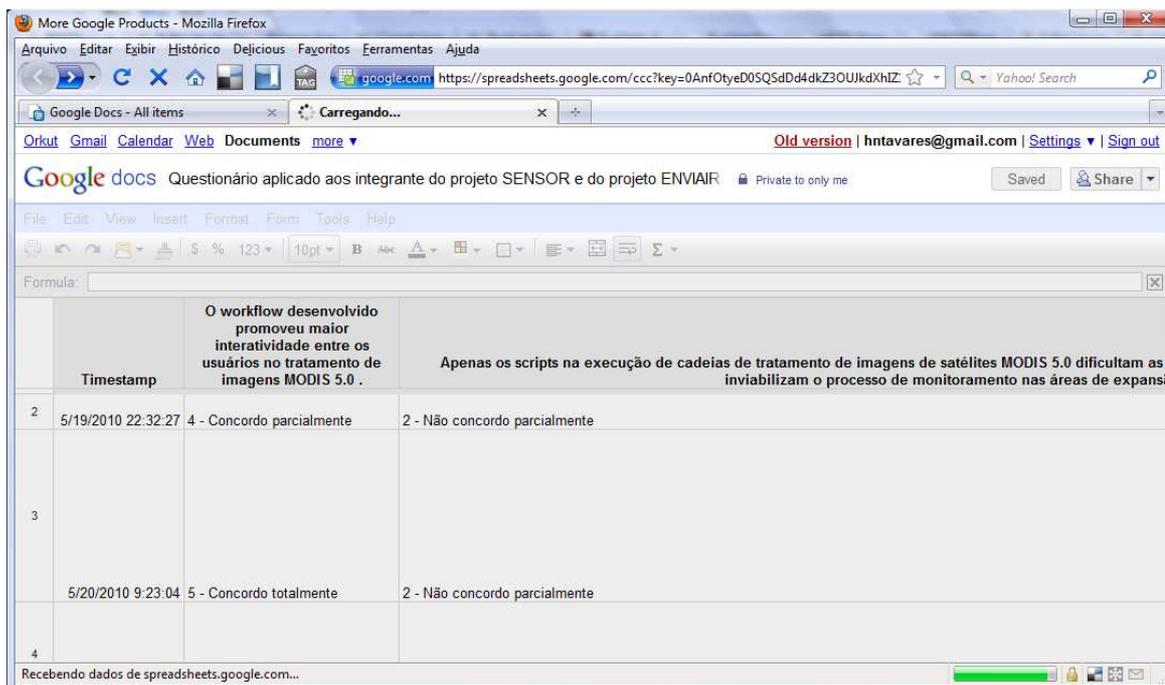


Figura 64 – Spreadsheet do Google Docs.

### 6.3. Considerações Finais

Este capítulo teve por objetivo detalhar o contexto dentro do qual esta pesquisa esteve inserida. Durante o processo de construção das soluções propostas procurou-se focar nos objetivos apresentados desde o início deste trabalho, testando-se as duas hipóteses estabelecidas (seção 1.2). A partir dos resultados obtidos e detalhados no capítulo 7, verificou-se que essa foi uma proposta ousada e com tempo de obtenção dos resultados aparentemente subestimado.

Todavia, o propósito sempre esteve fundamentado na concepção de uma abordagem que pudesse auxiliar no processo de avaliação dos impactos de mudança de uso e cobertura do solo e atender às demandas científicas de pesquisadores da área ambiental, numa integração de conhecimentos interdisciplinares onde sinergia, afinidade e conhecimento no assunto de interesse dos parceiros dos projetos ENVAIR e SENSOR foram fatores determinantes para a obtenção dos resultados.

## 7. Avaliação dos Resultados e Discussões

Experiências bem sucedidas focadas em políticas públicas como as do projeto Sensor na União Européia (<http://www.sensor-ip.org/>) foram difundidas tanto para o Mercosul quanto para a China, objetivando testar o processo de transferência de tecnologia da ferramenta SIAT (Ferramenta para Avaliação do Impacto na Sustentabilidade) como forma de integração de conhecimentos, troca de experiências e aumento da eficiência científica e tecnológica.

A meta em desenvolver uma solução aplicável em processos de monitoramento e avaliação ambiental utilizou-se de dados obtidos por técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para apontar possíveis impactos e sinalizar a necessidade de decisões para solucionar ou mitigar ações impactantes, frente às conseqüências desencadeadas pela aplicação de políticas públicas ao identificar mudanças de uso e cobertura do solo.

### 7.1. Obtenção da Taxa de Avanço no monitoramento da mudança de uso e cobertura da terra

A primeira solução desenvolvida no âmbito do projeto ENVIAR foi o *workflow* científico, que permitiu usar os dados do satélite AQUA, sensor MODIS, processados pelo sistema gerenciador de *workflows* apoiado em aplicativos da cadeia de monitoramento de uso e cobertura da terra. A Figura 65, relativa ao estágio inicial da cobertura do solo com a classificação de referência do ano 2000, possui um total de 34.515 pixels identificados pelo classificador automático (Anexo H) como pixels representativos para a classe *Agricultura*. Aos 196.038 pixels posteriores foi atribuída a classe *Cerrado*. Para a classe *Pastagem* foram identificados 281.280 pixels e, por último, 818 pixels representativos para a classe *Área Urbana* (Anexo H).

As imagens do produto MOD13Q1 provenientes do sensor MODIS possuem uma resolução espacial de 250 m<sup>2</sup> para cada pixel representativo. Multiplicando-se a quantidade de pixels classificados para cada classe pelo valor de 250 m<sup>2</sup> obteve-se

uma área total de 8.628.750 m<sup>2</sup> para a classe *Agricultura*, 49.009.500 m<sup>2</sup> para *Cerrado*, 70.320.000 m<sup>2</sup> para de *Pastagem* e 204.500 m<sup>2</sup> de *Área Urbana*.

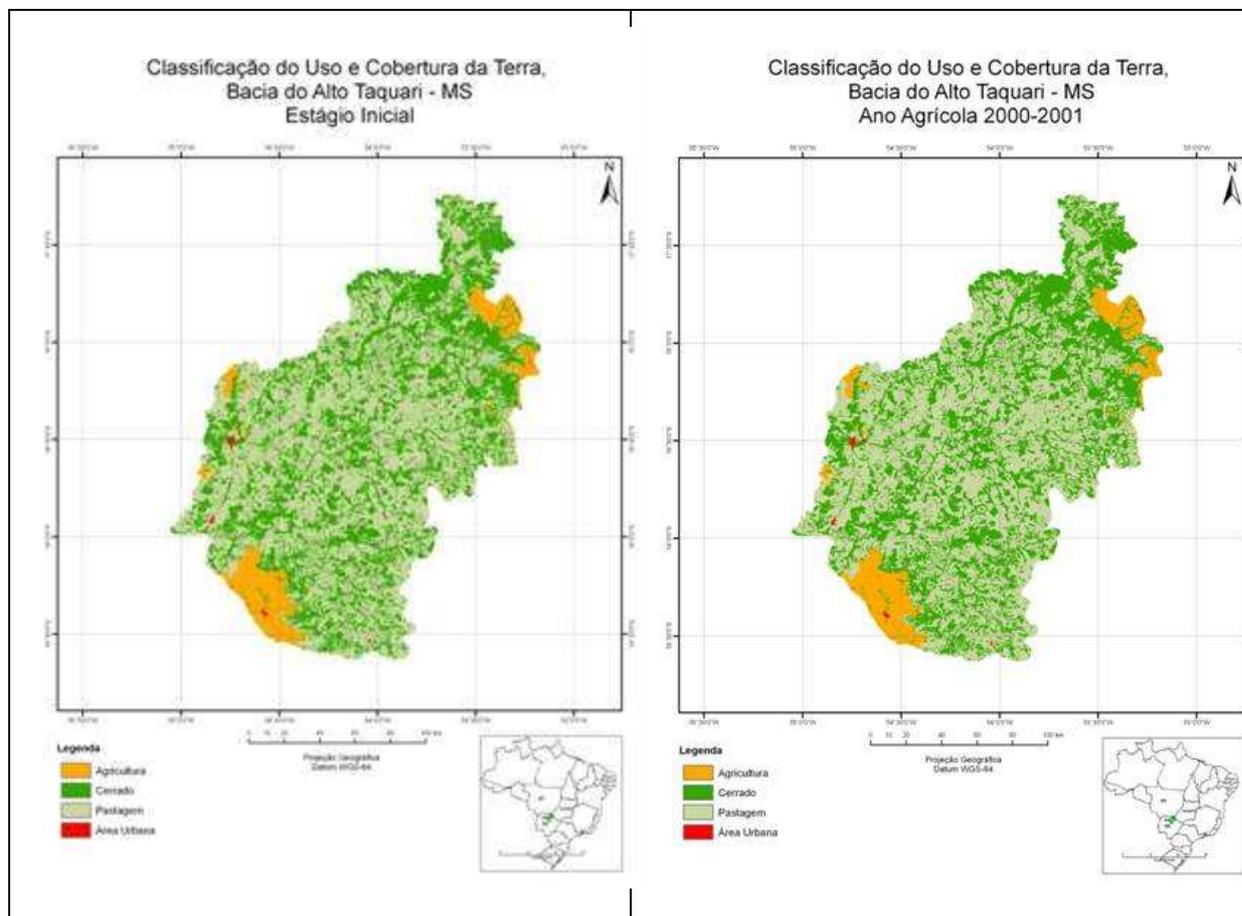


Figura 65 - Estágio inicial da cobertura do solo com a classificação de referência do ano 2000, Bacia do Alto Taquari, MS

Figura 66 - Condições de uso e cobertura do solo na safra 2000/01, Bacia do Alto Taquari, MS

Estes valores equivalem respectivamente aos percentuais de 6,7%, 38,2%, 54,9% e 0,16%. Apesar da pequena diferença em décimos de precisão, pode-se dizer que isto está em conformidade com os dados apontados por SILVA (2003), onde são publicados os valores de 7% para *Agricultura*, 38% de vegetação nativa (*Cerrado*), 55% para *Pecuária* e 0,15% de *Urbanização* (Cidades e Povoados).

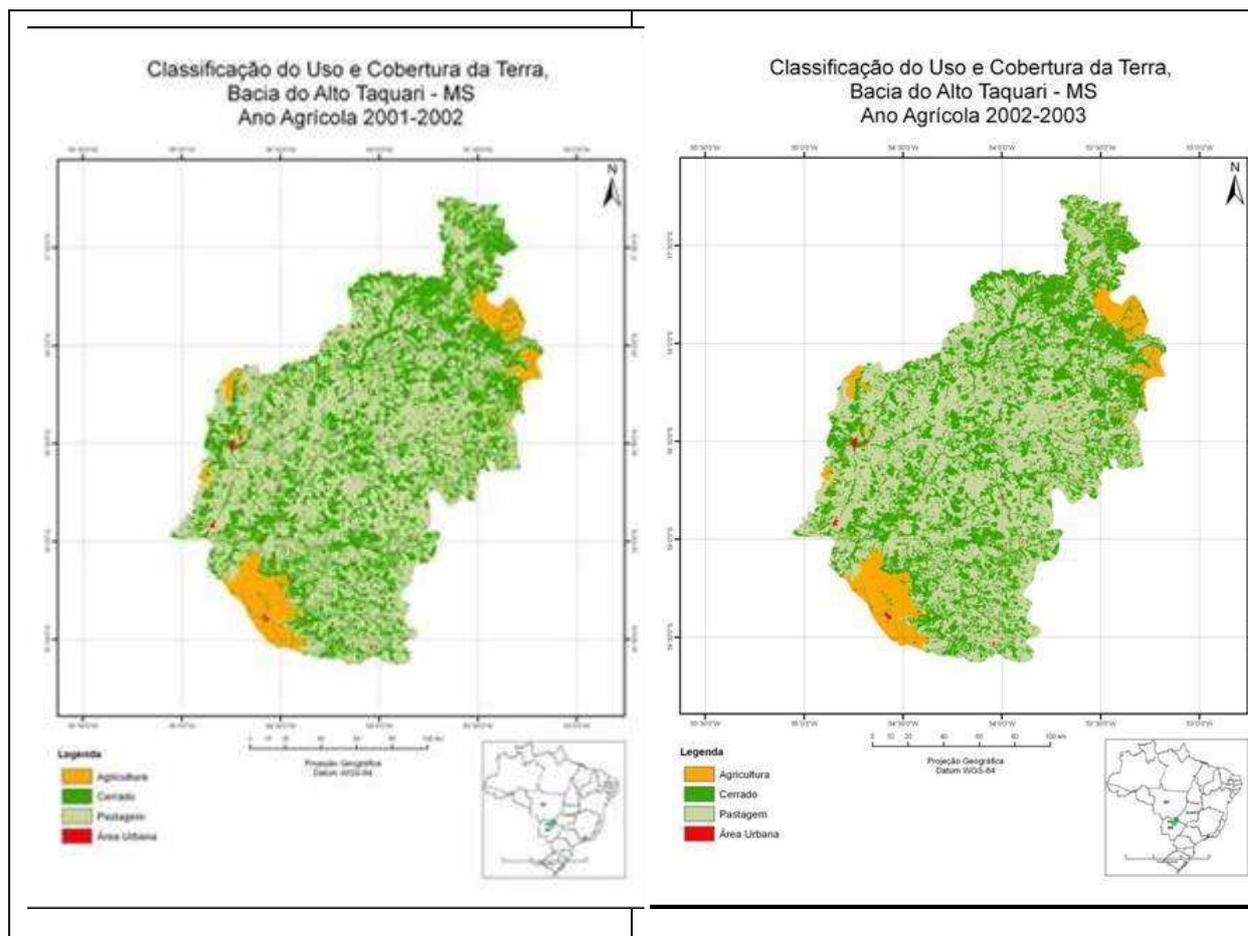


Figura 67 - Condições de uso e cobertura do solo nas safras 2001/02 e 2002/03, Bacia do Alto Taquari, MS

Para a safra **2001-2002** (Figura 66) foram identificados 37.366 pixels para *Agricultura*, 192.373 para *Cerrado*, 282.094 pixels em *Pastagem* e 818 pixels em *Área Urbana*. Na safra **2002-2003** (Figura 67), 40.200 pixels em *Agricultura*, 187.999 pixels classificados como vegetação nativa (*Cerrado*), 283.634 pixels em *Pastagem* e 818 para *Área Urbana*.

Nota-se aqui o valor constante de 818 pixels encontrados para Cidade e Povoados (*Área Urbana*), o que sugere que o desenvolvimento da região está fundamentado na expansão tipicamente agrícola deflagrada através da mudança de uso apontada pelo avanço de áreas voltadas para *Agricultura*, com um crescimento parcial de 16,47% entre os anos **2000-2001** e **2002-2003** (Anexo H).

Entre os anos **2003-2004** e **2004-2005** (Figura 68) e (Anexo H) houve um aumento de 19,22% segundo respostas obtidas pelo classificador automático.

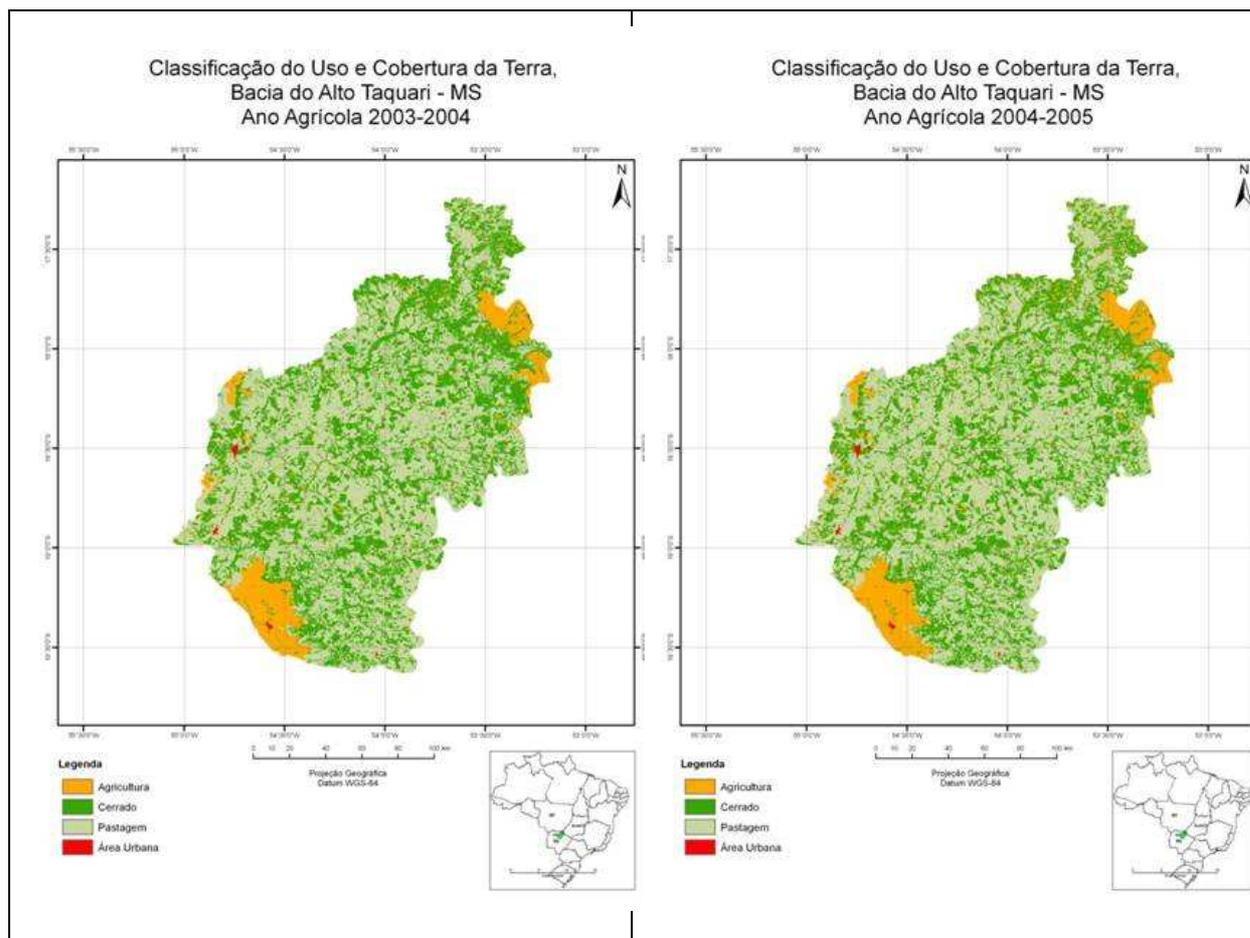


Figura 68 - Condições de uso e cobertura do solo nas safras 2003/04 e 2004/05, Bacia do Alto Taquari, MS

Logo a seguir, um aumento de 21,35% é observado entre as safras de **2005-2006** e **2006-2007** (Figura 69) e (Anexo H). Para a safra de 2007-2008 a classe *Agricultura* soma 72.491 pixels frente aos 140.107 pixels da classe *Cerrado*. Com 299.235 pixels é caracterizada a classe *Pastagem* e com 818 a classe *Área Urbana* (Anexo H).

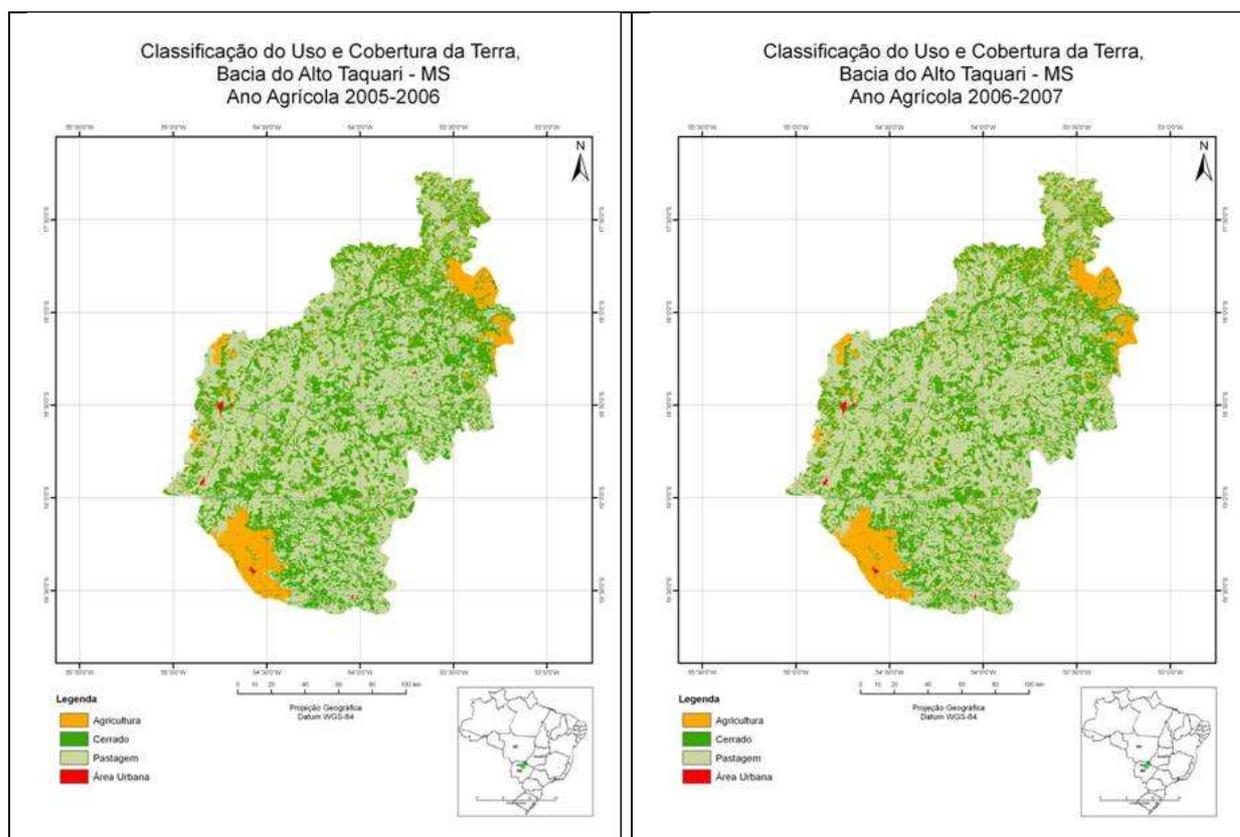


Figura 69 - Condições de uso e cobertura do solo nas safras 2005/06 e 2006/07, Bacia do Alto Taquari, MS

O gráfico da Figura 70 apresenta um resumo da evolução das classes de uso ao longo do período compreendido entre o ano 2000, ano da classificação de referência, e o ano agrícola **2007-2008**.

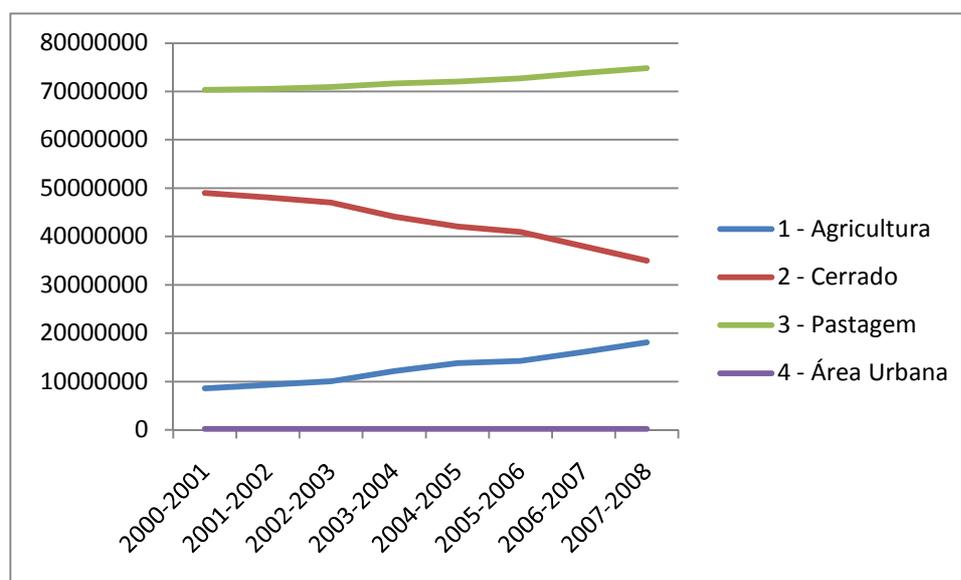


Figura 70 – Mudança de Uso e Cobertura da Terra entre as safras de 2000-2001 e 2007-2008

O comportamento para o coeficiente Kappa no decorrer do período de monitoramento compreendido entre a safra de **2000-2001** e a safra de **2007-2008** culmina com uma degradação aos partamares de 80,50%, o que é considerado um valor de Kappa de boa a excelente qualidade<sup>38</sup>, como mostra a Figura 71.

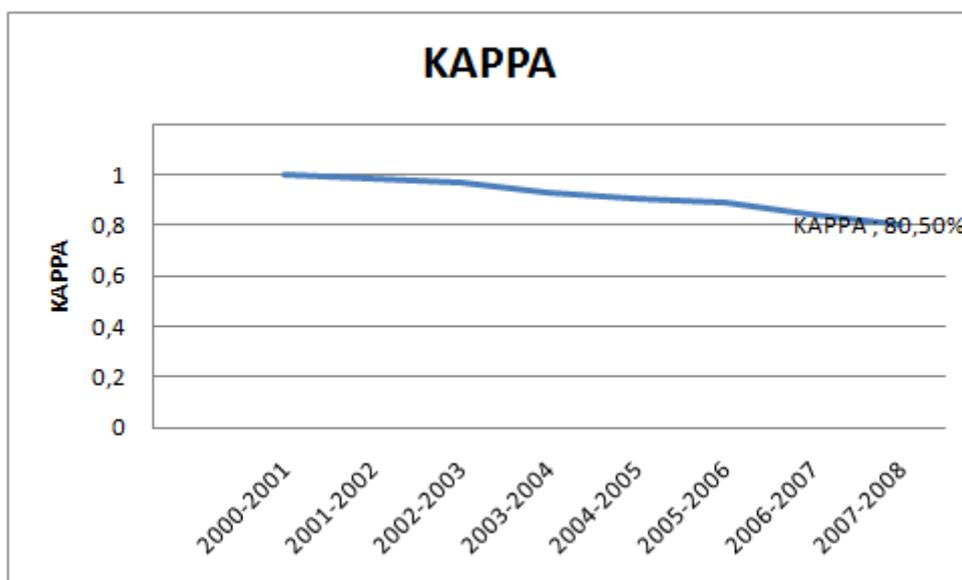


Figura 71 – Comportamento do coeficiente Kappa no decorrer do período 2000-2001 e 2007-2008

Constata-se, portanto, um indicador valioso que demonstra indícios de avanço da fronteira agrícola na região da BAT, no período compreendido entre 2000-2001 e 2007-2008, com base na estimativa de taxa média de 1.075.071 m<sup>2</sup> ao ano, obtida a partir dos dados produzidos por execuções sucessivas de *workflows* pelo monitoramento da mudança de uso e cobertura.

<sup>38</sup> O coeficiente Kappa é classificado qualitativamente de acordo com os valores observados a seguir (SILVEIRA; CARVALHO; SILVA, 2005):

- $K < 0$  – Classificação Péssima;
- $0 < K < 20$  – Classificação Ruim;
- $20 < K < 40$  – Classificação Razoável;
- $40 < K < 60$  – Classificação Boa;
- $60 < K < 80$  – Classificação Muito Boa;
- $80 < K < 100$  – Classificação Excelente.

### 7.1.1. Modelos obtidos a partir dos dados observados

Para uma melhor caracterização dos indícios apresentados na seção 7.1, foi possível obter modelos a partir de regressões apoiadas nos totais de *pixels* que sofreram modificações identificadas por monitoramentos sucessivos em imagens MODIS (Anexo H), conforme observado no Gráfico 1.

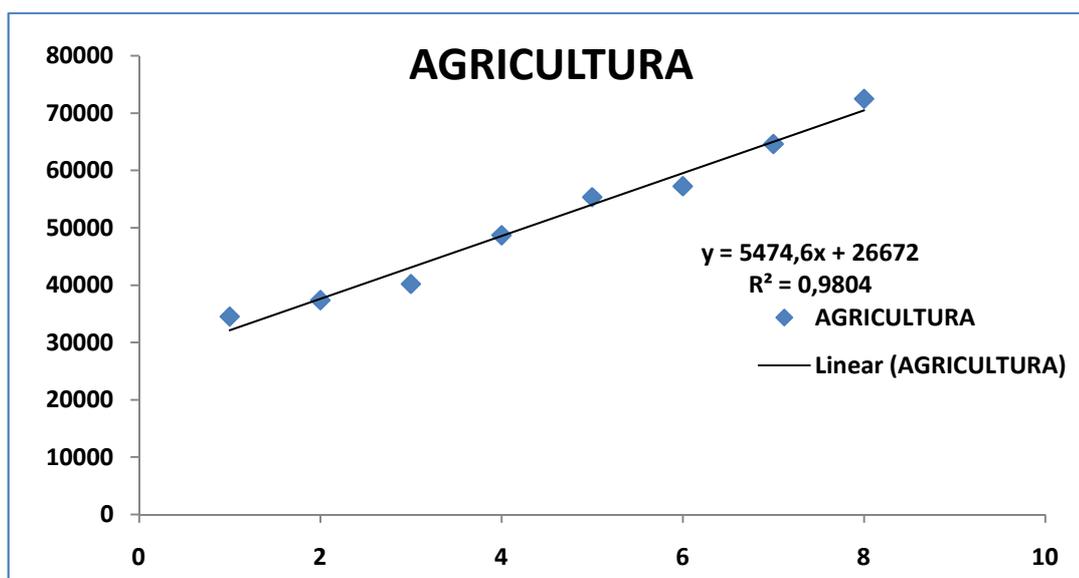


Gráfico 1 – Modelo de comportamento sobre a classe *agricultura*

Esta abordagem se justifica em função da preocupação com a conservação dos remanescentes de vegetação de cerrado frente ao desenvolvimento socioeconômico da região da Bacia do Alto Taquari, justificável em função da ocorrência de processos erosivos que comprometem áreas agricultáveis com os consequentes assoreamentos de rios (seção 1.2).

Torna-se possível, com isso, evidenciar um comportamento sobre a classe agricultura que se traduz na forma da Equação 1.

$$y = 5474,6x + 26672$$

Equação 1 – Equação representativa para o comportamento da *agricultura* na BAT.

Essa preocupação sobre a vegetação de cerrado pode ser evidenciada a partir do Gráfico 2, que demonstra uma redução expressiva da sua ocorrência no período compreendido entre os anos de 2000 e 2008.

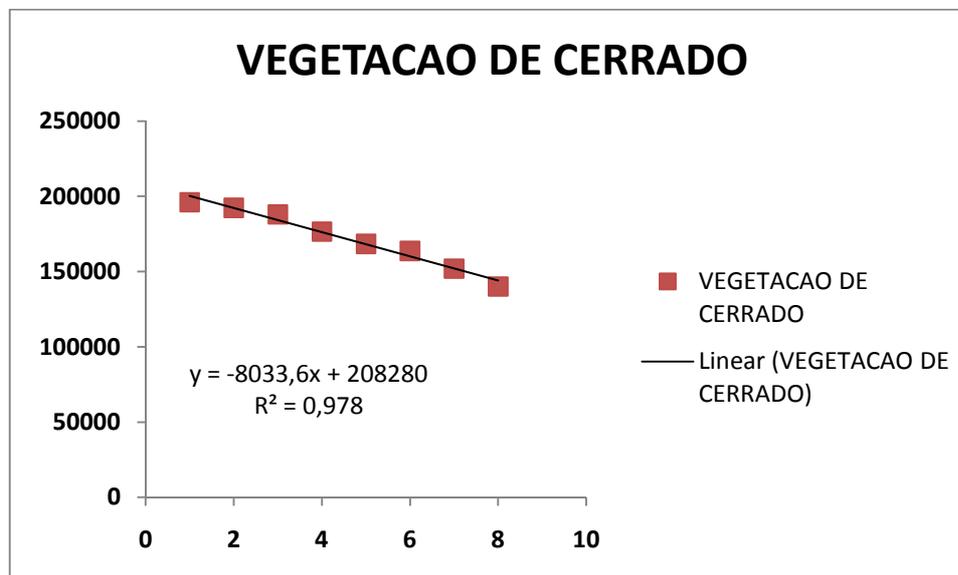


Gráfico 2 – Diminuição da área relativa aos remanescentes de vegetação de *cerrado*.

A Equação 2 destaca o comportamento decrescente relativo à classe *cerrado* na região da BAT frente às outras três classes consideradas, ou seja, classes agricultura, área urbana e pastagem.

$$y = -8033,6x + 208280$$

Equação 2 - Equação representativa para o comportamento da classe *cerrado* na BAT.

Pressões da ocorrência de áreas de pastagem sobre áreas com vegetação nativa de cerrado são relatadas por TEIXEIRA (2009). Idealmente, um estudo mais aprofundado precisaria ser realizado concentrando-se em análise da dinâmica do uso do solo, a fim de diagnosticar movimentos e relações entre as respectivas classes (seção 2.5). A partir deste trabalho é possível evidenciar um avanço da área de pastagem tal como destaca o Gráfico 3.

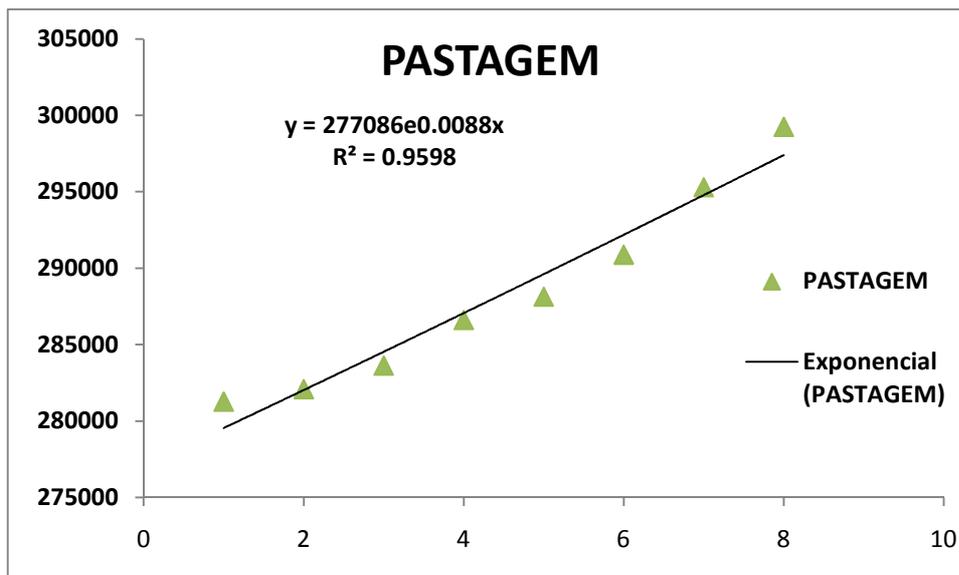


Gráfico 3 – Modelo de comportamento sobre a classe *pastagem*.

## 7.2. Avaliações qualitativas quanto ao potencial de uso da solução desenvolvida

No primeiro questionário foram formalizadas questões voltadas à integração do conhecimento entre as etapas de monitoramento da mudança de uso e avaliação dos impactos, objetivando destacar dificuldades existentes antes da aplicação da solução proposta, bem como vantagens adquiridas pelos mecanismos facilitadores após o uso da solução, apontando a satisfação geral frente ao potencial de uso da ferramenta.

Quanto à questão 1, “*O workflow desenvolvido promoveu maior interatividade entre os usuários no tratamento de imagens MODIS 5.0*”, houve aceitação total para 50% dos especialistas entrevistados. A outra metade dos especialistas se dividiu entre anuência parcial e discordância parcial. Esta distribuição pode ser evidenciada no Gráfico 4.

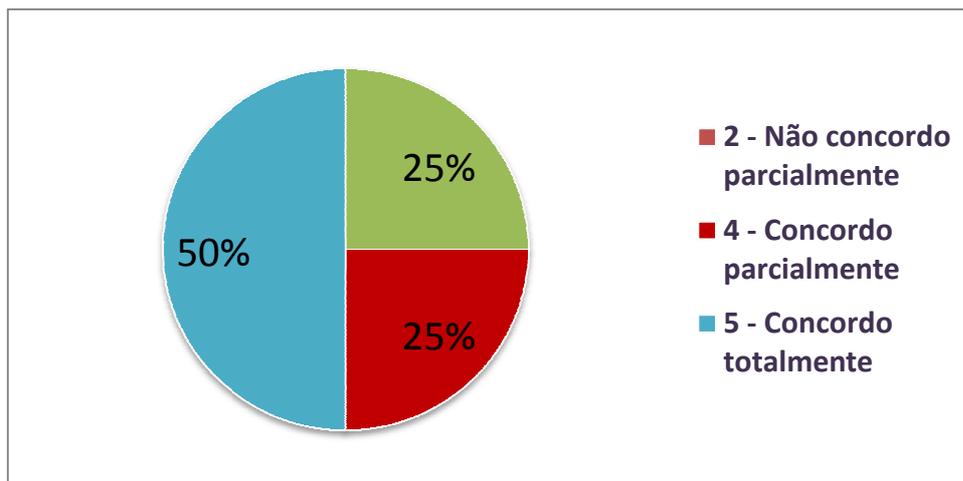


Gráfico 4 – Distribuição das respostas para a questão 1.

Como uma forma de comparação entre a abordagem original de uso da cadeia de monitoramento de imagens MODIS, baseada em scripts, e a abordagem que passou a contemplar sua aplicação através do uso do sistema gerenciador de *workflows*, a questão 2 foi proposta como uma afirmação do tipo “*Apenas os scripts na execução de cadeias de tratamento de imagens de satélites MODIS 5.0 dificultam as avaliações de mudança do uso e cobertura do solo e inviabilizam o processo de monitoramento nas áreas de expansão agrícola*”. Do total de pesquisadores que responderam ao questionário, 63% acreditam que com o uso dos *scripts* ainda era possível aplicar uma classificação às imagens de satélite e 25% se mostrou indiferente a este fator. Somente 12% entenderam que houve melhoria na produtividade.

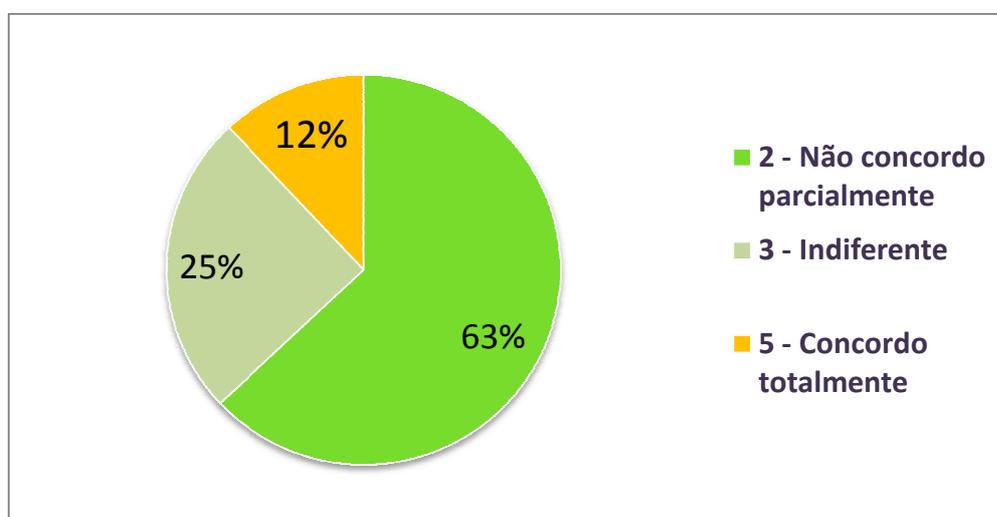


Gráfico 5 - Distribuição das respostas para a questão 2.

Um total de 38% dos participantes respondeu que concordam totalmente com a questão 3, “O *workflow* desenvolvido permitiu agilidade no processo de avaliação do avanço de áreas agrícolas a partir da safra 2001-2002 até 2007-2008”. Isso deve ao fato de que a construção de um monitoramento ocorre de forma melhor planejada, através da definição do encadeamento das tarefas expostas no ambiente de desenho do sistema gerenciador de *workflows*. Outros 36% concordaram parcialmente, representando a maioria das opiniões como mostra o Gráfico 6.

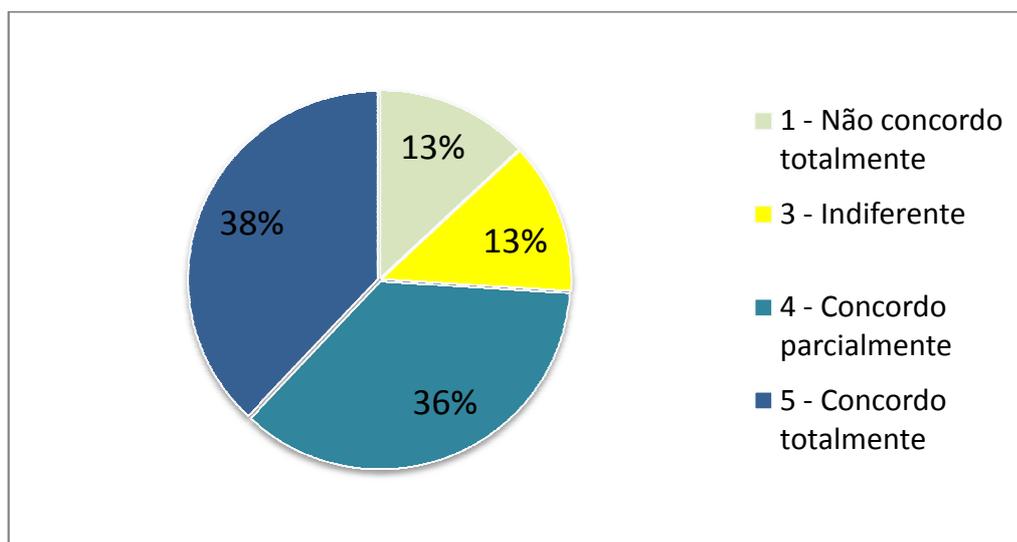


Gráfico 6 - Distribuição das respostas para a questão 3.

Houve aumento na capacidade de monitoramento com o uso da *web*. Esta é a conclusão a que chegaram 88% dos entrevistados quanto à questão 4, “O *workflow* desenvolvido auxiliou o desenvolvimento de trabalhos pela *web* no tratamento de diferentes áreas de interesse aumentando a capacidade de monitoramento em áreas sensíveis frente a uma pressão de uso e cobertura do solo”. Outros 12% chegaram a concordar parcialmente, como mostra o Gráfico 7.

De forma resumida, é possível observar que o aumento da rastreabilidade foi percebido por 88% dos entrevistados com respostas entre concordo totalmente ou concordo parcialmente, assim como o aumento da facilidade de compartilhamento de experiências, na opinião de 75% dos entrevistados, como mostra a Figura 72.

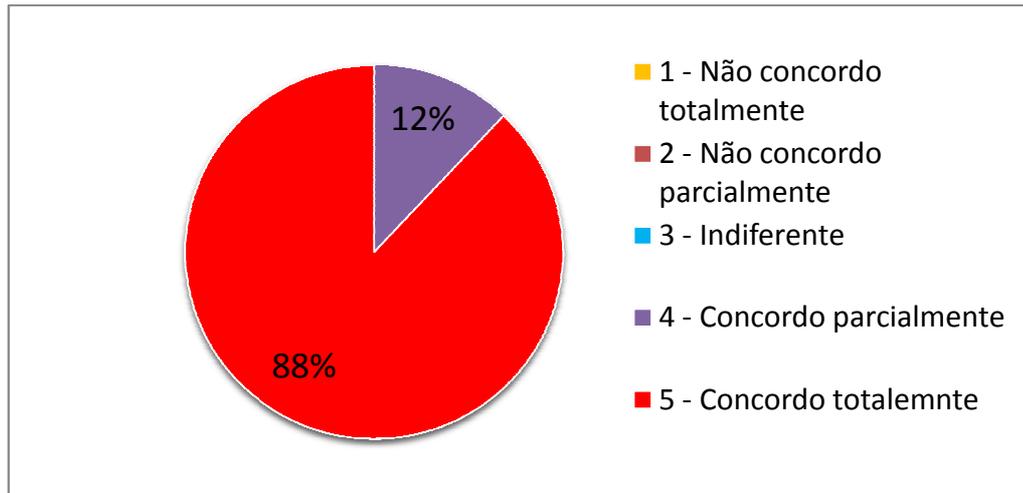


Gráfico 7 - Distribuição das respostas para a questão 3.

Ao analisar os resultados obtidos é possível perceber que a solução aprimorou a experiência de troca de recursos científicos pela *web* (77% dos entrevistados), além de ter garantido mais segurança e confiabilidade nos produtos gerados pelo processo (100% dos entrevistados). Outros resultados podem ser observados na Figura 72.

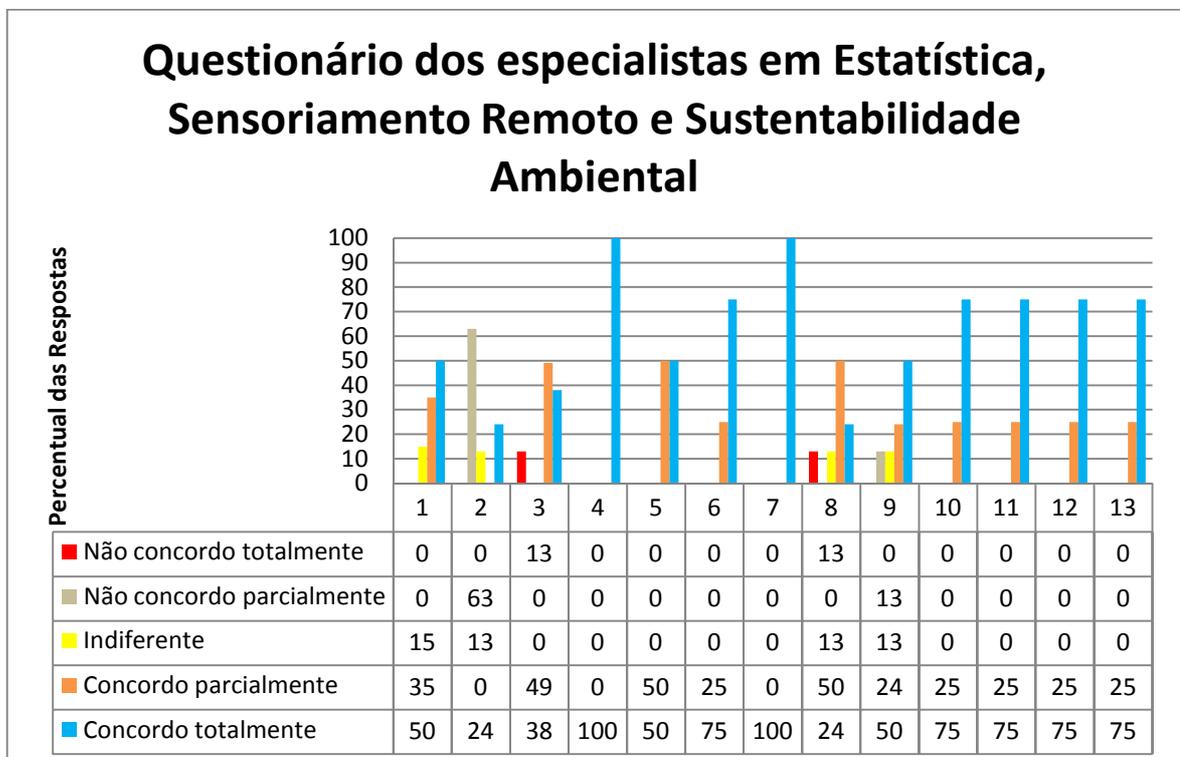


Figura 72 - Questionário dos especialistas em Estatística, Sensoriamento Remoto e Sustentabilidade Ambiental

As etapas com maior concentração de atividades e interesse dos especialistas no que diz respeito ao uso da solução proposta foram *análise das estatísticas de uso* e *avaliação do impacto na sustentabilidade*, com 63% e 75% respectivamente. Obtenção e preparação dos dados e classificação das imagens obtiveram menor percentual conforme pode ser observado no Gráfico 8. O predomínio sobre o interesse na etapa de análise das estatísticas se justifica em função da necessidade de obtenção da taxa de avanço a partir de monitoramentos sucessivos sobre a mudança de uso na região da BAT (seção 7.1).

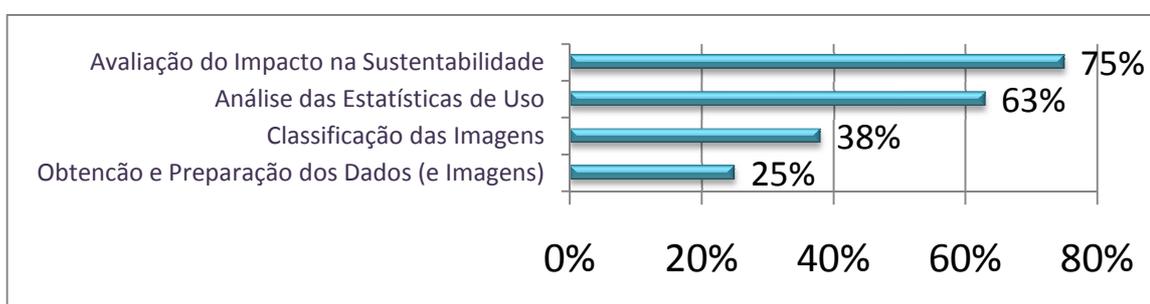


Gráfico 8 – Distribuição das Respostas sobre Etapas do Processo

### 7.3. Avaliações qualitativas quanto à contribuição em Sistemas de Informação

Três fatores se destacaram como as maiores contribuições apresentadas na solução proposta na opinião dos entrevistados: proveniência, reuso e integração de modelos lineares com *workflows*. Especificamente, sobre a questão 5 do questionário respondido por especialistas em *workflows*, “*A Ferramenta de Workflow na qual o Respondente é especialista oferece mecanismos de proveniência acionados a partir das mudanças de estado sofridas pelos produtos gerenciados pela execução de tarefas, mudanças derivadas de ações do tipo CRUD (Create, Read, Update e Delete)*”, houve disparidade entre as respostas, sugerindo que as ferramentas declaradas pelos entrevistados não concentram o controle sobre a captura da proveniência em função da mudança de estado dos artefatos produzidos pelos *workflows*, mas sim a partir de tarefas executadas, como mostra o Gráfico 9.

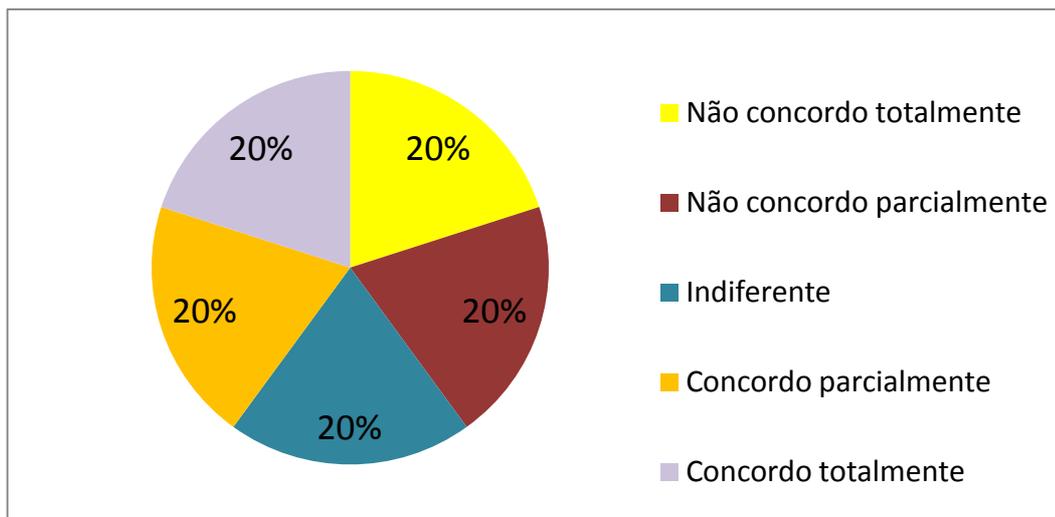


Gráfico 9 – Questão sobre a forma de captura da proveniência.

Na questão 8 (oito), sobre reuso de *workflows*, “*Na hipótese de reuso de um Workflow descrito pela Ferramenta na qual o Respondente é especialista, a Ferramenta em questão viabilizará a reprodução parcial entre cientistas, ou seja, reprodução somente de partes componentes como tarefas, parâmetros, e conexões entre parâmetros e tarefas.*”, 60% dos entrevistados apontou dificuldades sobre a viabilidade de reprodução dos artefatos desenhados em um *workflow* entre um primeiro experimento e um segundo experimento, como pode ser observado no Gráfico 10.

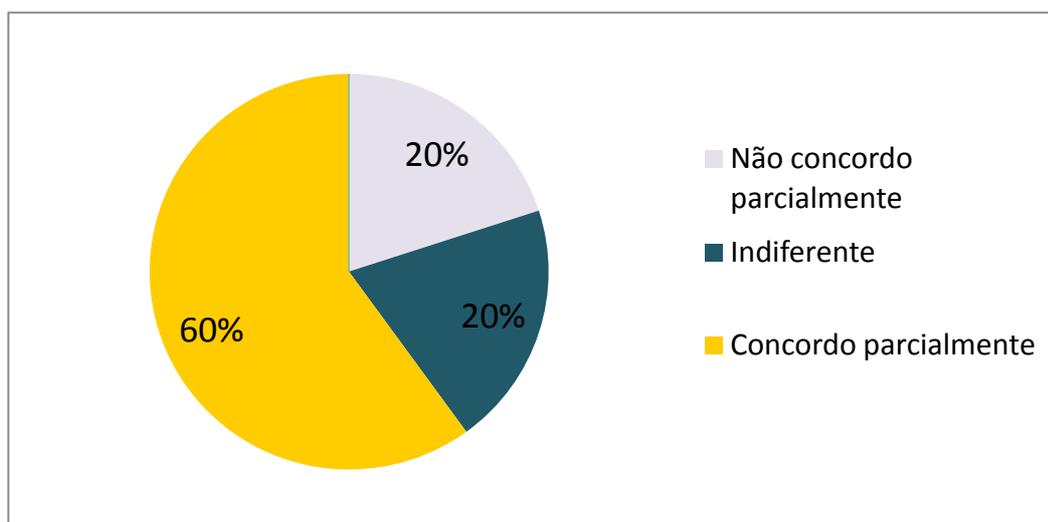


Gráfico 10 – Questão sobre reuso de *workflows*.

A questão 9, “A Ferramenta de Workflow na qual o Respondente é especialista oferece suporte ao gerenciamento de Modelos de Programação Linear Recursiva”, destaca a impossibilidade de integração dos *workflows* com modelos de programação linear recursiva na opinião de 80% dos entrevistados, seja de forma total ou parcial, como mostra o Gráfico 11.

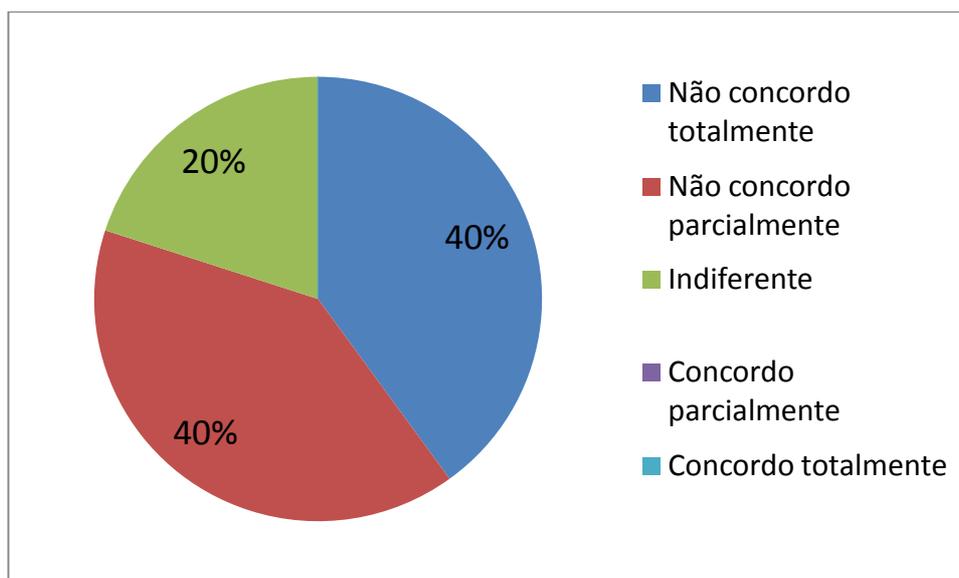


Gráfico 11 - Questão sobre o uso de modelos de programação linear recursiva em *workflows*.

Importante frisar ainda que essa característica foi determinante para alcançar as expectativas de uso da solução proposta neste trabalho por parte dos pesquisadores envolvidos nos projetos ENVIAIR e SENSOR.

São apresentadas de forma resumida no Gráfico 12 todas as respostas obtidas a partir de especialistas em *workflow* pela aplicação do respectivo questionário. Assim como o questionário direcionado aos especialistas envolvidos nos projetos ENVIAIR e SENSOR, o questionário com perfil de preenchimento por especialistas em ferramentas de *workflow* foi construído através do serviço *Google Docs* (seção 6.2) e enviado por email para todos os colaboradores realizarem o seu preenchimento.

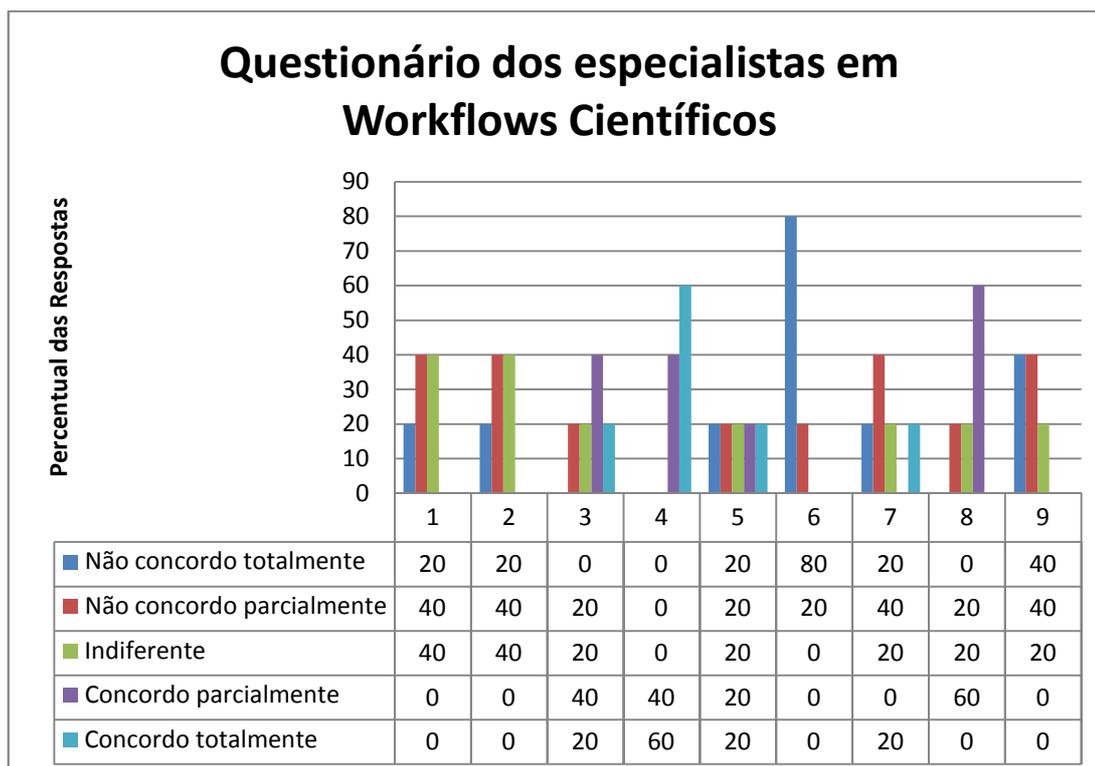


Gráfico 12 - Concentração das respostas obtidas por especialistas em *workflows* científicos

## 8. Conclusão e Trabalhos Futuros

A partir dos resultados obtidos foi possível evidenciar que existe forte integração científica na área de Tecnologia da Informação com áreas ligadas as ciências ambientais, onde parcerias científicas multidisciplinares potencializam o desenvolvimento de ferramentas voltadas ao subsídio do planejamento e gestão ambiental.

O *workflow* apresentou-se como uma oportunidade de difundir e facilitar ações de pesquisa voltadas ao monitoramento de uso e ocupação do solo a partir de imagens MODIS. Os resultados das taxas de variação nas mudanças de uso expressam o potencial do *workflow* na automação do monitoramento de processos que apresentam alterações nas paisagens.

A arquitetura apresentou-se adequada às avaliações de indicadores ambientais em bacias hidrográficas e o seu uso aumentou a capacidade de processamento de imagens monitoradas em sistemas de produção consolidados. Os conhecimentos exitosos de projetos na União Européia foram transferíveis para avaliar impactos sob a ótica de política pública no MERCOSUL.

O aporte metodológico gerado no desenvolvimento da ferramenta SIAT-TTC deve ser utilizado em outras ferramentas com o mesmo propósito científico. O *workflow* e a ferramenta SIAT-TTC se interconectam e apresentaram complementaridade no que diz respeito à importância e utilidade dos recursos compartilhados.

A escalabilidade e interoperabilidade nativas da arquitetura orientada a recursos (REST-ROA) e a adaptabilidade dos modelos de objetos adaptáveis (AOM) viabilizaram o alcance dos objetivos na obtenção das soluções propostas no trabalho de dissertação. Essas estruturas apresentam potencial de avaliação de mudanças nas paisagens e podem auxiliar tomadores de decisão e de políticas públicas.

## 8.1. Contribuições

A principal contribuição desta dissertação é a proposta de uma arquitetura baseada em objetos adaptáveis e serviços para a publicação de recursos com estados propagáveis, viabilizando a obtenção de novos modelos matemáticos a partir de monitoramentos sobre mudanças de uso e cobertura do solo com imagens MODIS da NASA. Estes modelos, uma vez obtidos, permitiram observar o comportamento de duas classes de uso do solo, a classe agricultura e a classe pastagem, e uma classe de cobertura do solo, a classe de vegetação de cerrado.

Outra contribuição importante se fez presente sob a forma de obtenção das taxas de acréscimo e/ou de redução das áreas das classes citadas nesta seção, que permitiram estabelecer numa primeira abordagem as condições necessárias para se introduzir a discussão sobre impactos na sustentabilidade da região da BAT, ainda que lhe faltem outros estudos complementares para se alcançar opiniões mais conclusivas sobre o assunto.

Um dos estudos que seria fonte de grande contribuição concentra-se em abordagens sobre comportamentos em cenários futuros, frente ao avanço da cana de açúcar na região do Mato Grosso do Sul, o que envolveria o uso de outras regras de conhecimento adotadas em cenários de análise, regras sobre questões topoclimáticas da região da BAT, por exemplo.

Além das contribuições citadas nos parágrafos anteriores, outras são destacadas a seguir:

- A disseminação da noção de cooperação sobre a construção dos *workflows* (reuso) aliada à noção de controle e rastreabilidade sobre os *workflows* (proveniência), valorizando a capacidade de participação dos especialistas envolvidos;
- A possibilidade de se integrar modelos de programação linear recursiva com *workflows* científicos, definindo um processo oportuno e objetivo ao se obter modelos resumidos a partir de imagens de satélite MODIS.
- A capacidade de reorganização do funcionamento da camada de aplicação da arquitetura apresentada a partir da inserção de novos

conceitos na camada de persistência, tais como *funções resposta* e *funções indicador*, permitindo que os próprios pesquisadores alimentem o SIAT-TTC com as regras obtidas a partir dos monitoramentos, deixando a cargo da camada de objetos adaptáveis a preocupação com a reorganização;

- A partir das taxas de avanço das classes agricultura e pastagem foi possível deduzir uma primeira consequência sobre a paisagem das áreas de remanescer de vegetação de cerrado, em suma, a sua redução;
- A identificação sobre o entendimento da utilidade das regras de conhecimento a partir de uma descrição ubíqua, ou seja, uma descrição auto-explicativa gravada com a própria regra, em tabelas do banco de dados (seção 5.2.4).

Durante a elaboração deste trabalho, obtivemos a publicação de dois relatórios técnicos (MARTORANO *et al.* 2008; MARTORANO *et al.* 2009). São eles, respectivamente:

- *Comparative report on the design of the SIAT-MERCOSUR including scenario assessments. The reports comprise specification on how to implement the scenario assessments into SIAT-MERCOSUR. Conceptual framework and Technical settings of TTC-Model*, submetido em dezembro de 2008, como parte integrante do processo de transferência de tecnologia do arcabouço conceitual SIAT da União Européia para o Mercosul. Este relatório apresenta uma proposta preliminar sobre possibilidades de implementação do protótipo SIAT-TTC;
- *SIAT-TTC design and architecture, Sustainability Impact Assessment Tool prototype: Demonstration tool at TTC-level, for MERCOSUR*. Submetido em maio de 2009, como parte integrante do processo de transferência de tecnologia do arcabouço conceitual SIAT da União Européia para o Mercosul. Este segundo relatório avalia efetivamente a transferência de tecnologia do arcabouço conceitual SIAT para o Mercosul e descreve requisitos e soluções alternativas adotadas para o protótipo SIAT-TTC.

Após a apresentação de todo o estudo sobre o uso de modelos de objetos adaptáveis, *workflows* científicos e transferência de estados representacionais para o compartilhamento de recursos em *giscience*, pretende-se trabalhar em um artigo apresentando todos os resultados.

## 8.2. Dificuldades Encontradas

No decorrer de todo o trabalho de pesquisa realizado, começando pela caracterização das necessidades e definição dos requisitos com pesquisadores com doutorado e grande experiência em ciências ambientais, passando pelos levantamentos de trabalhos relacionados na busca pela contextualização dos conceitos envolvidos no trabalho nos deparamos com alguns fatores restritivos.

O primeiro fator e talvez o mais desafiador foi a tentativa de conciliação entre dois ENVIAR e SENSOR, principalmente por tratarem de conceitos suplementares, onde a ocorrência de um projeto não determina a existência do outro e vice-versa. Ao se tornar a visão determinante para a proposta apresentada neste trabalho, esta conciliação exigiu uma maior dedicação sobre o entendimento dos conceitos envolvidos, pois envolvia questões ambientais, sociais e políticas, o tripé conceitual da sustentabilidade.

O segundo fator apresentou-se como uma grande dificuldade em conciliar as agendas dos pesquisadores envolvidos em função de termos que trabalhar com dois cronogramas distintos, um proveniente de cada projeto. A questão da disponibilidade geográfica também influenciou bastante no andamento da pesquisa, ao ponto de determinar a forma de preenchimento dos questionário para avaliação dos resultados da pesquisa (seção 6.2), todos realizados pela *web*.

Um outro fator também determinante para o estabelecimento do formato final deste trabalho foi a questão sobre a necessidade de obtenção de taxas de avanço de uma determinada classificação obtida a partir de imagens MODIS. Um ponto que merece destaque é o fato de que o processamento dessas imagens apresentou um custo operacional muito elevado, grande parte devido ao tamanho dos arquivos utilizados no formato HDF, normalmente com tamanho de 250 MB na versão HDF 5

e 500 MB na versão HDF 4, com um arquivo para cada 16 dias de monitoramento por satélite. Com o período compreendido entre 2000 e 2008 fica justificada aqui a necessidade do uso de 22 GB de imagens da NASA (seção 6.1) para a realização deste trabalho.

Diante das limitações apresentadas e da pluralidade de conceitos envolvidos, percebe-se a dificuldade que um único profissional teria para a aplicação desta proposta em outras regiões com questões ambientais parecidas com as da Bacia do Alto Taquari, tais como Rio Verde, estado de Goiás.

### 8.3. Trabalhos Futuros

Este trabalho aponta algumas sugestões para trabalho futuros, dentro do contexto da sustentabilidade e dos sistemas distribuídos.

É possível prever demandas de processamento em grades computacionais, haja vista o tamanho de um arquivo HDF, disponibilizado pela NASA dado o grande potencial de distribuição das imagens MODIS, baseando-se em sua disponibilidade no site da NASA e também na característica de organização hierárquica existente. Esta característica facilita a extração dos seus *datasets* para processamento de forma isolada dos demais componentes.

Outros trabalhos futuros previstos dizem respeito à criação de novos *workflows* de monitoramento das mudanças de uso e cobertura do solo com a consequente demanda por avaliação dos impactos. A integração entre o motor Freefluo e outros motores de *workflow* também é uma demanda de trabalho futuro, haja vista o foco na reutilização dos *workflows* de monitoramento.

A aplicação da proposta neste trabalho também tem como alvo outras regiões de estudo cujos crescimentos econômicos afetam diretamente o equilíbrio natural das paisagens envolvidas.

## Referências

- AALST, W. V. D. **Standard Evaluation**. 2007. Disponível em: <http://is.tm.tue.nl/research/patterns/standards.htm>. Acesso em: 28 de out. 2009.
- AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, R. R. Y. E. **Monitoramento da colheita da cana-de-açúcar por meio de imagens MODIS**, 2008
- ALTINTAS, I., BERCKLEY, C., JAEGER, E., JONES, M. “**Kepler: An Extensible System for Design and Execution of Scientific Workflows**”, In: Proceedings of the 16th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM04), pp. 423-424, Santorini, Greece, June, 2004.
- ALUR, D.; CRUPI, J.; MALKS, D. **Core J2EE Patterns, As melhores práticas e estratégias de design**, Core Design Series, Sun Microsystems Press, 2004, Elsevier Editora Ltda.
- AMBIENTE BRASIL, **Sistema de Gestão Ambiental**. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./gestao/index.html&conteudo=./gestao/sistema.html>. 2009. Último acesso em 28 de outubro. 2009.
- ARAKAKI, L.M.F. **Aprovado, zoneamento libera usina e cana na BAP**. Disponível em: [http://www.semec.ms.gov.br/zeems/index.php?templat=vis&site=166&id\\_comp=1740&id\\_reg=91507&voltar=home&site\\_reg=166&id\\_comp\\_orig=1740](http://www.semec.ms.gov.br/zeems/index.php?templat=vis&site=166&id_comp=1740&id_reg=91507&voltar=home&site_reg=166&id_comp_orig=1740). 2009. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.
- BANGHAM, M. **Webtops: The Best of Desktop and Browser-Based Apps in One**. Disponível em: <http://www.devx.com/Java/Article/31787>. 2006. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.
- BARCELLOS, M. P.; ROCHA, A. R.; TRAVASSOS, G. H.; **Planejamento de Custos em Ambientes de Desenvolvimento de Software Orientados à Organização**. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~monalessa/Publicacoes/SBQS2004-MPB.pdf>. Último acesso em 28 de outubro. 2009
- BARROCA, L.; GIMENES, I.M.S. & HUZITA, E.H.M. “**Conceitos Básicos**”, in: **Desenvolvimento Baseado em Componentes**, Gimeses, I.M.S. & Huzita, E.H.M. (eds), Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2005. ISBN 85-7393-406-9, pg. 1-26.
- BARROS, P. M. **Gerência da Execução de Workflows Científicos de Bioinformática em Ambientes Distribuídos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BLAKELEY, J.; CAMPBELL, D.; Gray, J.; MURALIDHAR, S., NORI, A. **Acesso a dados da próxima geração: tornando o nível conceitual real**. Disponível em: [http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/aa730866\(VS.80\).aspx](http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/aa730866(VS.80).aspx) Último acesso em 28 de outubro. 2009

BONFIM, M. N. C. **Integração automática de aplicações externas em um ambiente de aprendizagem apoiado na Web 2.0** – Rio de Janeiro, IM/NCE/UFRJ, 2009. 223f.: il.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. **Banco de Dados Geográficos**. 2005. Cap.12. p. 383 – 426.

CAMPBELL, J. B.; **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

CARDOSO, P. E. ; FERREIRA, M. G. V. **Proposta de uma Nova Arquitetura para Utilização do Modelo de Objetos Dinâmicos**. 2007. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 5, NO. 3, JUNHO 2007

CARNEIRO, T. G. S. **Modelagem Ambiental: Ferramenta para Definição de Políticas Públicas**. Disponível em: [http://www.ijsn.es.gov.br/seminarios/docs/modelagem\\_ambiental.pdf](http://www.ijsn.es.gov.br/seminarios/docs/modelagem_ambiental.pdf). 2009. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

CARNEIRO, T. **Nested-CA: a foundation for multiscale modeling of land use and land change**. 2006. 116f. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – National Institute of Space Research, São José dos Campos, Brazil, 2006.

CARNEIRO, T. **Uma arquitetura para modelagem ambiental empírica e baseada nas teorias dos autômatos celulares, híbridos e situados**. 2004. 55f. Proposta de tese apresentada ao programa de pós-graduação em computação aplicada, como parte dos requisitos para a obtenção do título de doutor em computação aplicada. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/proposta\\_tiago.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/proposta_tiago.pdf). Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SAMPAIO, C.S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A.P.F.; SHIMABUKURO, Y. E. **Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais ndvi do sensor modis no parque nacional chapada dos veadeiros**. Revista Brasileira de Geofísica (2008) 26(4): 505-517. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbg/v26n4/v26n4a10.pdf>. 2008. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

CAVALCANTI, M.C.R.; MATTOSO, M. L. Q.; CAMPOS, M. L. M. **Gerência de Recursos Científicos: Apoiando a Realização de Experimentos in Silico**. Disponível em: <http://ict4eo.meraka.csir.co.za:8081/ict4eo/internalcollab/research/papers-documents-on-scientific-workflows/es60503.pdf>. 2003. Acesso em: 10 de mar. 2010.

CONAB. **Produção de cana bate mais um recorde.** Disponível em: <http://www.agronline.com.br/agronoticias/noticia.php?id=22647>. 2010. Último acesso em 29 de abril. 2010.

CORDEIRO, M. M. **Geração Automática de Interfaces a partir da Descrição Enriquecida de Modelos de Negócio.** 2009. 134 pp. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, IM / PPGI.

DA ROCHA B. PINTO, G.; STRAUCH, J.C.M.; DE SOUZA, J.M.; OLIVEIRA, J.; CARDOSO, L.F.; BOTELHO, L.R.; MARTORANO, L.G.; MORAIS, E.C. DE CASTRO, M.A., JR.; DA JUSTA MEDEIROS, S.P. **A Framework to Support Scientific Knowledge Management: a Case Study in Agro-meteorology.** 2003 . Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?reload=true&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F8113%2F22453%2F01047708.pdf%3Farnumber%3D1047708&authDecision=-203> . Acesso em: 10 de mar. 2009.

DE ROURE, D.; GOBLE, C.; STEVENS, R. **“The Design and Realisation of the myExperiment Virtual Research Environment for Social Sharing of Workflows”**, Future Generation Computer Systems, 2008.

DIGIAMPIETRI, L. A.; MEDEIROS, C. B.; SETUBAL, J. C. **Gerenciamento de workflows científicos em bioinformática.** Anais do Concurso de Teses e Dissertações da Sociedade Brasileira de Computação 2008 (CTD - SBC2008), Belém, Brazil, July 12-18, 2008, pp. 1-8

DIGIAMPIETRI, L. A.; MEDEIROS, C. B.; SETUBAL, J. C.; BARGA, R. S. **Traceability Mechanisms for Bioinformatics Scientific Workflows.** Proceedings of the AAAI2007's Workshop on Semantic E-Science (SeS2007), Vancouver, Canada, July 23, 2007, pp. 26-33

DONAIRES, O. S. **Programando na complexidade: um modelo sistêmico cibernético de desenvolvimento e melhoria de software.** 2º Congresso Brasileiro de Sistemas Ribeirão Preto – SP. Área Temática: Engenharia de Sistemas e Tecnologia da Informação. 25 e 26/10/2006 - FEA-RP/USP.

ELLKVIST, T., KOOP, D., ANDERSON, E. W., FREIRE, J., SILVA, C. **Using Provenance to Support Real-Time Collaborative Design of Workflows.** Provenance and Annotation of Data and Processes: 2nd International Provenance and Annotation Workshop, Salt Lake City, UT, USA, LNCS, Springer-Verlag, p. 266-279, 2008.

EMBRAPA/CPAP. **Rios da Bacia do Alto Taquari contaminados por pesticidas.** Disponível em: <http://www.agronline.com.br/agronoticias/noticia.php?id=233>. 2002. Último acesso em 29 de abril. 2010.

EVANS, E., 2004, **Domain-Driven Design: Tackling Complexity in Software**. Addison-Wesley, 2004.

EVANS, E., 2009, **Glossary of Domain-Driven Design Terms**. Disponível em: [http://www.domaindrivendesign.org/resources/ddd\\_terms](http://www.domaindrivendesign.org/resources/ddd_terms). Acesso em: 05 de mai. 2009.

EXTENSITY PROJECT, Conceitos - **Desenvolvimento Sustentável e Agricultura Sustentável**. Disponível em: <http://consumidores.extensity.pt/38/conceitos---desenvolvimento-sustentavel-e-agricultura-sustentavel.htm>. 2009. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

FERREIRA, C. S.; LACERDA, M. P. C.; **Adequação agrícola do uso e ocupação das terras na Bacia do Rio São Bartolomeu**, Distrito Federal, 2009

FIELDING, R. T. - **Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures**. 2001. Disponível em: <http://roy.gbiv.com/pubs/dissertation/top.htm>. Último acesso em: 12 janeiro. 2007.

FOWLER, M. **Continuous Integration**. Disponível em: <http://www.martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html>. 2006b. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

FOWLER, M. **Padrões de Arquitetura de Aplicações Corporativas**. 2006a

FOWLER, M. **Service Layer**. Disponível em: <http://martinfowler.com/eaCatalog/serviceLayer.html>. 2006c. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

FOWLER, M., 2009a. **Specification Pattern**. Disponível em: <http://martinfowler.com/apsupp/spec.pdf>. Acesso: 10 de mar. 2009.

FOWLER, M., 2009b. **Language Workbenches: The Killer-App for Domain Specific Languages**. Disponível em: <http://www.martinfowler.com/articles/languageWorkbench.html>. Acesso: 10 de mar. 2009.

FOWLER, M., 2009c. **Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern**. Disponível em: <http://www.martinfowler.com/articles/injection.html>. Acesso: 10 de mar. 2009.

FOWLER, M., 2009d. **Introduction to Domain Specific Languages**. Disponível em: <http://www.infoq.com/presentations/domain-specific-languages>. Último acesso: 10 de mar. 2009.

FREIRE, J.; KOOP, D.; SANTOS, E.; and SILVA, C. **Provenance for Computational Tasks: A Survey**. Computing in Science and Engineering, 10(3):11-21, 2008.

FROTA, C. S.; PANTOJA R. R.; SÉLLOS, L. **Teoria da criação do conhecimento organizacional NONAKA e TAKEUCHI**. Disponível em: [http://portal.portaltwservices.com.br/portal/page/portal/PortalTWServices/Comunica%C3%A7%C3%A3o/Artigos%20Publicados/ListaArtigosPublicados/PDF\\_Artigo\\_Teoria\\_Nonaka\\_Takeuchi.pdf](http://portal.portaltwservices.com.br/portal/page/portal/PortalTWServices/Comunica%C3%A7%C3%A3o/Artigos%20Publicados/ListaArtigosPublicados/PDF_Artigo_Teoria_Nonaka_Takeuchi.pdf). 2009. 2006. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; SORIANO, B. M. A. **Erosão na Bacia do Alto Taquari**. Documentos 52, Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, Brasil; 2003.

GENIAUX, G.; BELLON, S.; DEVERRE, C.; POWELL, B. **Sustainable Development Indicator Frameworks and Initiatives**. System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society. SEAMLESS. Disponível em: [http://www.seamlessassociation.org/index.php?option=com\\_docman&task=catview&gid=66&Itemid=84](http://www.seamlessassociation.org/index.php?option=com_docman&task=catview&gid=66&Itemid=84). 2009. Último acesso: 16 de dezembro. 2009.

GETIRANA, A.C.V. **Análise de soluções de conflitos pelo uso da água no setor agrícola através de técnicas de programação linear**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Dissertação (Mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

GOETZMANN, J. F. XML - **Extensible Markup Language**. 2006. Disponível em: <http://www.jefago.de/pub/webtech/xml.pdf> Último acesso em 28 de outubro. 2009.

GOODCHILD, M. F. **What is Geographic Information Science?** The NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science. 1997. Disponível em: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/>. Acesso em: 10 de mar. 2009.

INRIA. **INRIMAGE**. Disponível em: [http://pauillac.inria.fr/cdrom\\_a\\_graver/www/inrimage/COPYRIGHT.html](http://pauillac.inria.fr/cdrom_a_graver/www/inrimage/COPYRIGHT.html). 1998. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

JANSSON, T.; BAKKER, M.M.; BOITIER, B.; FOUGEYROLLAS, A.; HELMING, J.; VAN MEIJL, H.; VERKERK P.J. **Linking models for land use analysis: experiences from the SENSOR project**. 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists – EAAE 2008. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/44169/2/570.pdf>. 2008. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

JGRAPH. **User Manual for JGraph Version 5.13.0.0**. Disponível em: <http://www.jgraph.com/pub/jgraphmanual.pdf>. 2009. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

JONATHAN, M. **Classificação do Uso e Cobertura do Solo em escala regional a partir de seqüências temporais de dados MODIS**. 2005. 147p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2005.

JONATHAN, M.; MEIRELLES, M. S. P.; COUTINHO, H. L.C.; BERROIR, J.P.; HERLIN, I. **Aperfeiçoamento do monitoramento do uso e cobertura do solo com dados MODIS a partir da utilização de um diagrama de transição de estados.** 2007. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5839-5845.

JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND J.R.G; VERMOTE E.F.; MASUOKA E.; WOLFE R.E.; SALEOUS N.; ROY D.P.; & MORISETTE J.T. 2002. **An overview of MODIS Land data processing and product status.** Remote Sensing of Environment, 83: 3–15.

KNAPEN, R.; ATHANASIADIS, I.; HUBER, D.; JONSSON, B.; JANSSEN, S. **Use of OpenMI in Seamless.** Disponível em: <http://public.deltares.nl/download/attachments/13501010/Seamless+OpenMi+Layer.doc?version=1>. 2008. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

KOOP, D.; SCHEIDEGGER, C. E.; CALLAHAN, S. P.; FREIRE, J.; SILVA, C.T. **"VisComplete: Automating Suggestions for Visualization Pipelines,"** IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 14, no. 6, pp. 1691-1698, Nov./Dec. 2008, doi:10.1109/TVCG.2008.174

LISBOA, L. S. S. **Cenários de mudanças climáticas usando modelagem dinâmica na Bacia do Alto Taquari.** 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

MANOLESCU, D. A.; JOHNSON, R. E. **Dynamic Object Model and Adaptive Workflow.** 1999. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.32.4750>. Acesso em: 28 de out. 2009

MARTIN, NELSON B.; CARMO, MARISTELA S.; ASSEF, LUIZ C.; TOYAMA, NELSON K.; YOSHII, REGINA J.; GIORDANO, SÔNIA M. **Um modelo de programação linear recursiva do setor agrícola no Estado de São Paulo.** São Paulo: IEA, 1983

MARTORANO, L. G.; GALDINO, S.; D'AGOSTINI, L. R.; PONCE, S. A.; HERNANI, L. C.; CUPERTINO, J. L.; COSTA, C. A. da; VIEIRA, L. M.; ROSSO, J.; COSTA, A. R. C.; RAMALHO FILHO, A.; COUTINHO, H. L. da C. **Índices de desempenho ambiental na Bacia do Alto Taquari,** MS: aspectos metodológicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 30 p. (Embrapa Solos. Documentos, 34). Projeto PRODETAB: Sistema de Suporte a Decisão para o Monitoramento de Impactos Ambientais de Atividades Agropecuárias na Bacia do Alto Taquari.

MARTORANO, L. G.; LISBOA, L.; MEIRELLES, M. S. P.; SCHULER, A. **Erosive potential of rains in the climate change scenarios in the upper taquari River Basin**, Ms, Brazil. In: INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, NATURAL RESOURCE MANAGEMENT AND RURAL DEVELOPMENT, 2009, Hamburg. Biophysical and socio-economic frame conditions for the sustainable management of natural resources. Hamburg: University of Hamburg, 2009a.

MARTORANO, L.G.; TAVARES, H.; SCHULER, A.; MEIRELLES, M.S.P.; COUTINHO, H.L.; VALENCIA, L. I.O.; TURETTA, A. P.; MONTEIRO, J.G.; FERRAZ, R.D. **Comparative report on the design of the SIAT-MERCOSUR including scenario assessments. The reports comprise specification on how to implement the scenario assessments into SIAT-MERCOSUR. Conceptual framework and Technical settings of TTC-Model**. 2008, 55p. Deliverable, 8.4.1b. Rio de Janeiro.

MARTORANO, L.G.; TAVARES, H.; SCHULER, A.; MEIRELLES, M.S.P.; VALENCIA, L. I.O.; SANTOS, F. L. DE O.; LISBOA, L.; TEIXEIRA, F. A.; PEREIRA, S.; FERRAZ, R.D.; MONTEIRO, J.G.; TURETTA, A. P.; COUTINHO, H.L. **SIAT-TTC design and architecture, Sustainability Impact Assessment Tool prototype: Demonstration tool at TTC-level, for MERCOSUR**. 2009b, 126p. Deliverable, 8.4.2b. Rio de Janeiro.

MATSKANIS, N.; SURRIDGE, M.; FERRIS, J. CANTALUPO, B. **Adaptive Workflow Technology**. 2006. Disponível em: [http://eprints.ecs.soton.ac.uk/12374/1/P5.3.2\\_v1.0.pdf](http://eprints.ecs.soton.ac.uk/12374/1/P5.3.2_v1.0.pdf). Acesso em: 28 de out. 2009

MEIRELLES M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C.; M. (Editores Técnicos) Geomática. **Modelos e Aplicações Ambientais**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. D. F. Brasil, 2007.

MONSIEUR, G.; SNOECK, M.; LEMAHIEU, W. **Coordinated Web Services Orchestration**. 2007. Faculty of Economics. Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services, 775–783

MOREAU, L.; CLIFORD, B.; FREIRE, J.; GIL, Y.; GROTH, P.; FUTRELLE, J.; KWASNIKOWSKA, N.; MILES, S.; MISSIER, P.; MYERS, J.; SIMMHAN, Y.; STEPHAN, E.; VAN DEN BUSSCHE, J. **The Open Provenance Model Core Specification (v1.1)**. 2009. Disponível em: <http://eprints.ecs.soton.ac.uk/18332/1/opm.pdf>. Acesso em: 28 de out. 2009.

MUEHLEN, M.; NICKERSON, J.V.; SWENSON, K.D. **“Developing Web Services Choreography Standards – The Case of REST versus SOAP”**. 2005. Decision Support Systems, vol. 40, no. 1, pp. 9-29, 2005.

OLIVEIRA, J. , **METHESIS: Uma abordagem de apoio à gestão do conhecimento para ambientes de "e-science"**. 2007. 393 pp Tese (Doutorado em Engenharia de

Sistemas e Computação) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

OURGRID. **The OurGrid Community**. Disponível em: <http://www.ourgrid.org/index.php?lang=en>. 2009. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

POOLE, J. D. **Model Driven Architecture: vision, standards and emerging technologies**. In: Workshop on Metamodeling and Adaptive Object Models, Apr.2001, Budapest, Hungary. Proceedings... Budapest: IEEE, 2001.

QUARTAROLI, C. F., **Classificação Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto: Tutorial Básico** – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006.

REA, M. L., PARKER, A. R. **Metodologia da pesquisa: do planejamento à execução**. São Paulo, Pioneira, 2000.

RIZZOLI, A.E., WIEN J.J.F., KNAPEN, R., RUINELLI, L., ATHANASIADIS, I.; JONSSON, B. **Updated version of final design and of the architecture of SEAMLESS-IF**. System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society. SEAMLESS. Disponível em: [http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/57935/2/Report\\_47\\_D5.3.10.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/57935/2/Report_47_D5.3.10.pdf). 2009. Último acesso: 16 de dezembro. 2009.

RODRIGUES, L.M.; RESENDE, M.R.; TIMOSZCUK, A. P. **Sistema de imageamento hiperespectral de alta resolução embarcado em plataforma aérea de baixo custo**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 7079-7085.

ROSENBERG, F.; CURBERA, F.; DUFTLER, M.J.; KAHALF, R. **Composing RESTful services and collaborative workflows**. IEEE Internet Computing 12 (5) (2008) 24–31.

SEGHIDRO. **O Projeto SegHidro**. Disponível em: [http://seghidro.lsd.ufcg.edu.br/index.php?option=com\\_content&view=frontpage&Itemid=55&lang=pt](http://seghidro.lsd.ufcg.edu.br/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=55&lang=pt). 2006. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

SGRILLO, R.B. & SGRILLO, K.R.P.A. Modelagem **de sistemas agroflorestais: conceitos e aplicações**. Disponível em: [http://www.sgrillo.net/sysdyn/sgrillo\\_agrofloresta\\_v1.pdf](http://www.sgrillo.net/sysdyn/sgrillo_agrofloresta_v1.pdf). 2007. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

SIAD. **Noções Básicas sobre Sensoriamento Remoto**. Disponível em: [http://www.lapiq.iesa.ufg.br/novosite/apresentacoes/treinamentos05/Nocoos\\_basicas\\_sensoriamento\\_remoto.pdf](http://www.lapiq.iesa.ufg.br/novosite/apresentacoes/treinamentos05/Nocoos_basicas_sensoriamento_remoto.pdf). 2005. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

SILVA, J. S. V. **Análise multivariada em zoneamento para planejamento ambiental**. Estudo de caso: bacia hidrográfica do alto rio Taquari MS/MT. 338 p. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. 2003.

SILVEIRA, E.; CARVALHO, L.; SILVA, A. **Uso conflitivo do solo nas áreas de preservação permanente do município de Bocaina de Minas /MG**. 2005.

Disponível em:

<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.16.20.37/doc/1673.pdf> Acesso em: 10 de mar. 2009.

SILVEIRA, L. M.; CARVALHO, A. **Simulação Estocástica Discreta**. Disponível em: <http://digitais.ist.utl.pt/ec-po/PDFs/09/projecto/SED.pdf>. 2009. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

SINGH, M. P.; CHOPRA, A.K.; DESAI, N.; MALLYA, A. U. **Protocols for Processes: Programming in the Large for Open Systems**, 2004

SINGULAR SYSTEMS, **Parsing and Evaluation**. Disponível em:

<http://www.singularsys.com/jep/doc/html/index.html>. 2008. Último acesso em: 10 de mar. 2009.

SUN MICROSYSTEMS, **Java BluePrints – Model-View-Controller**. Disponível em: <http://java.sun.com/blueprints/patterns/MVC-detailed.html>. 2002. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

TEIXEIRA, F. A. P. **Uso do classificador supervisionado de imagens MODIS para diagnosticar pressões da agricultura em áreas de cerrado e a biocapacidade em Rio Verde, Goiás**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Brasil. 2005

THOMÉ, A. C. **SICSDA – uma arquitetura de software distribuída configurável e adaptável aplicada às várias missões de controle de satélites**. São José dos Campos: INPE, 2004. 254p.

TREEGROSS. **TREE GROWTH OPEN SOURCE SOFTWARE - a tree growth model component**. Disponível em: <http://www.nw-fva.de/~nagel/treegross>. 2003. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

UNIVERSO AMBIENTAL, **O que é SGA (Sistema de Gestão Ambiental)?**

Disponível em:

[http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos\\_ler.php?canal=6&canallocal=10&canalsub2=28&id=65](http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos_ler.php?canal=6&canallocal=10&canalsub2=28&id=65). 2009. Último acesso em 28 de outubro. 2009.

USGS (2004). **“MODIS Reprojection Tool User’s Manual”**, version 3.2a (July 2004), Department of Mathematics and Computer Science, South Dakota School of

Mines and Technology, EROS Data Center, United States Geological Survey (USGS), Sioux Falls, SD, USA.

VADUVA, A.; KIETZ, J.; ZÜCKER, R. M. **A metamodel for data preprocessing**. In: International Workshop on Data Warehousing and OLAP, 4., Nov. 2001, Atlanta. Proceeding...Atlanta: S.n, 2001. p.85-92.

VALENCIA, L. I. O. **Enfoque da estatística espacial em modelos dinâmicos de mudança do uso do solo**. 2008. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

VALENCIA, L. I. O. **Enfoque da estatística espacial em modelos dinâmicos de mudança do uso do solo**. 2008. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

VERWEIJ, P.J.F.M.; ROLLER, J. ; MEULEBROUK, B.; KNAPEN, R.; VAN RANDEN, Y.; DE WINTER, W.; DE KOPPEL, P. **SIAT design and architecture, Sustainability Impact Assessment Tool prototype II**. SENSOR, 2008. Deliverable 4.3.1. 68 p.

WAINWRIGHT, P. **Web 2.0: Putting webware on the webtop**. Disponível em: <http://blogs.zdnet.com/SAAS/?p=315>. 2007. Último acesso em 10 de janeiro. 2010.

WELICKI, L.; LOVELLE, J. M. C.; AGUILAR, L. J. **Meta-Specification and Cataloging of Software Patterns with Domain Specific Languages and Adaptive Object Models**. 2006. Disponível em: <http://hillside.net/europlop/europlop2006/workshops/B6.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2009.

WERNER, C.M.L.; BRAGA, R.M.M. “**A Engenharia de Domínio e o Desenvolvimento Baseado em Componentes**”, in: Desenvolvimento Baseado em Componentes, Gimenes, I.M.S. & Huzita, E.H.M. (eds), Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2005. ISBN 85-7393-406-9, pg. 57-103.

WIKIPEDIA, 2009a – A Enciclopédia livre, **Abstract Syntax Tree**. Disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/Abstract\\_syntax\\_tree](http://en.wikipedia.org/wiki/Abstract_syntax_tree). Acesso em: 10 de março. 2008

WORKFLOW PATTERNS INITIATIVE. **Standard Evaluation**. 2009. Disponível em: <http://www.workflowpatterns.com/evaluations/standard/index.php>. Acesso em: 28 de out. 2009

WROE, C., GOBLE, C., GREENWOOD, M., LORD, P., MILES, S., PAPAY, J., PAYNE, T., MOREAU, L. (2004) **Automating Experiments Using Semantic Data on a Bioinformatics Grid**. IEEE Intelligent Systems, 19 (1). pp. 48-55.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento em estudos ambientais: Uma perspectiva sistêmica (Cap. 1)**. MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA M. Geomática: modelos e aplicações ambientais. Brasília, DF: EMBRAPA Informação tecnológica, 2007. 593 p. p. 21 -53.

YODER, J. W.; JOHNSON, R. **The Adaptive Object-Model Architectural Style**. 2002. Disponível em: <http://www.adaptiveobjectmodel.com/WICSA3/ArchitectureOfAOMsWICSA3.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2009.

YODER, J.W.; BALAGUER, F.; JOHNSON, R. **Architecture and Design of Adaptive Object-Models**. 2001. Disponível em: <http://www.adaptiveobjectmodel.com/OOPSLA2001/AOMIntriguingTechPaper.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2009.

YOSHIZAKI, H.T.Y. **Aplicação de redes de filas para modelagem de sistemas de transporte**. São Paulo, 1990, 110p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

YOSHIZAKI, H.T.Y. **Planejamento e projeto de bases de modelos quantitativos de auxílio à decisão**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. São Paulo, Capítulo 7, 1997.

YOSHIZAKI, H.T.Y.; MUSCAT, A.R.N.; BIAZZI, J. **Decentralizing ethanol distribution in Southeastern Brazil**. Interfaces, V.26, n. 6, nov.-dez., 1996.

ZACHMAN, J. A. **A framework for information systems architecture**. 1987. Disponível em: <http://zachmaninternational.com/images/stories/ibmsj2603e.pdf>. Acesso em: 10 de mar. 2009.

ZEE-MS. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Mato Grosso do Sul - Contribuições técnicas, teóricas, jurídicas e metodológicas**. Volume I. Disponível em: <http://www.semac.ms.gov.br/controle/ShowFile.php?id=45133>. 2009. Último acesso em 16 de dezembro. 2009.

## **Anexos**

---

## Anexo A – Padrões de Projeto

O desenvolvimento de software orientado a objetos apresenta grande apelo pela reutilização de partes de artefatos ou artefatos inteiros de um sistema, onde padrões de software descrevem estruturas similares entre os sistemas de informação. As vantagens obtidas através do uso de padrões são inúmeras e as mais abordadas pela literatura consultada concentram-se nos fatores de redução de tempo de desenvolvimento e de obtenção da garantia de qualidade de software.

Um padrão de projeto descreve uma estrutura particular que resolve um problema recorrente de projeto em um contexto específico e em meio a “forças” que podem ter impacto na maneira pela qual o padrão é aplicado e usado (Pressman).

Diante desta definição, é possível observar uma aproximação conceitual entre o que PRESSMAN (2006) afirma e o que GAMMA et. al (2000) defende sobre o uso de padrões de projeto dentro do paradigma da orientação a objetos, apresentados como *descrições de objetos e classes comunicantes que precisam ser personalizadas para resolver um problema geral de projeto num contexto particular*.

GAMMA et. al (2000) criou e organizou vinte e três padrões de projeto, conhecidos como *Padrões GoF*, sob a forma de soluções reutilizáveis de software orientadas a objeto. Estes padrões foram classificados em três grupos de acordo com o **Propósito** e que podem ser observados no quadro seguinte.

Tabela - Classificação dos Padrões de Projeto GoF segundo GAMMA et. al (2000)

Propósito		
Criação	Estrutura	Comportamento
<i>Factory Method</i> <i>Abstract Factory</i> <i>Buikder</i> <i>Prototype</i> <i>Singleton</i>	<i>Adapter</i> <i>Bridge</i> <i>Composite</i> <i>Decorator</i> <i>Façade</i> <i>Flyweight</i> <i>Proxy</i>	<i>Interpreter</i> <i>Template Method</i> <i>Chain of Responsibility</i> <i>Command</i> <i>Iterator</i> <i>Mediator</i> <i>Memento</i> <i>Observer</i> <i>State</i> <i>Strategy</i> <i>Visitor</i>

Os padrões classificados como de criação são relacionados à criação de objetos, os classificados como estruturais tratam das associações entre classes e objetos e os classificados como comportamentais tratam das interações e divisões de responsabilidades entre as classes ou objeto. Abaixo é apresentada a classificação realizada por METSKER (2004) dos mesmos 23 padrões propostos por GAMMA et.al (2000) organizando-os em cinco grupos de acordo com a **Intenção**.

Tabela - Classificação dos Padrões de Projeto GoF segundo Metsker

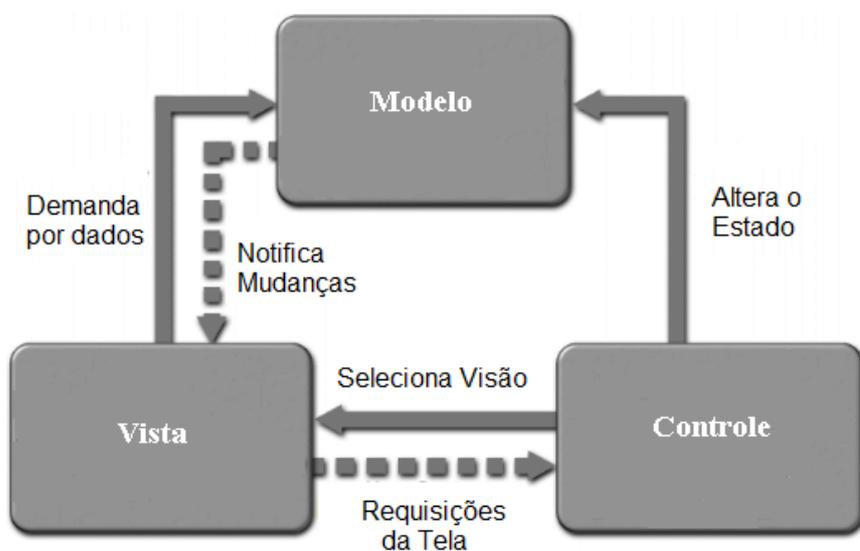
Intenção	Padrões
1. Interfaces	Adapter, Façade, Composite, Bridge
2. Responsabilidade	Singleton, Observer, Mediator, Proxy, Chain of Responsibility, Flyweight
3. Construção	Builder, Factory Method, Abstract Factory, Prototype, Memento
4. Operação	Template Method, State, Strategy, Command, Interpreter
5. Extensão	Decorator, Iterator, Visitor

### Padrão Arquitetural M-V-C

O padrão MVC (*Model-View-Controller*) (SUN MICROSYSTEMS, 2008) é uma prática arquitetural comum para o estabelecimento de uma organização dos sistemas em camadas, que consiste em dividir a aplicação em três partes: modelo, visão e controle. Tem por finalidade estabelecer uma organização do trabalho da equipe de desenvolvimento do sistema, através da separação das tarefas de implementação da camada de apresentação (tela ou visão) e da camada do modelo de negócios (modelo), bem como das regras de negócio que definem as validações e críticas nos dados fornecidos (controle). Desta forma, eleva-se o grau de coesão e reduz-se o grau de acoplamento, viabilizando uma melhor capacidade de reaproveitamento futuro de código.

Na camada de *modelo* manifesta-se uma estrutura composta por dados e operações, através de um conjunto de classes de objetos, que contemplam toda a lógica de negócio da aplicação. A camada de *visão* detém a lógica de apresentação dos dados em um formato inteligível aos usuários. A mesma informação pode ser

apresentada de maneiras diferentes para grupos de usuários com requisitos diferentes. Na porção conhecida como *controle*, ocorre o fluxo principal de execução e coordenação, onde existe uma vasta literatura sobre a aplicação de estratégias e melhores práticas de implementação desta camada, sob a forma de padrões, tais como *Intercepting Filter*, *Front Controller*, *Application Controller* e *Dispatcher View* (ALUR, CRUPI, MALKS, 2004). Esta camada serve como um intermediador entre a apresentação e a lógica da aplicação.



**Figura 4: Padrão Arquitetural Arquitetura MVC**  
Adaptado de: SUN MICROSYSTEMS, 2008

São papéis desempenhados pelo controlador:

- Interceptar a requisição do usuário e traduzir essas ações juntamente com os valores de entrada de dados em chamadas às funções específicas no modelo (i.e., padrões *Front Controller* e *Intercepting Filter*);
- Selecionar a vista apropriada baseando-se nos requisitos do usuário e estado do modelo (i.e., padrões *Application Controller* e *Dispatcher View*).

A separação do *controlador* do *modelo* cria mapeamentos configuráveis de ações capturadas pelo *controlador* para funções no *modelo*, possibilitando que uma mesma ação seja executada para usuários diferentes por funções diferentes. Não há comunicação direta entre a *visão* e o *modelo*, o que torna mais fácil a adição de

diferentes apresentações do mesmo dado, além de facilitar a adição de novos tipos de apresentação à medida que o domínio do problema é ampliado. A separação entre as camadas de *visão* e *controlador* permite maior flexibilidade para selecionar, em tempo de execução, visões apropriadas baseado no *fluxo de trabalho*, requisitos do usuário ou *estado* interno do modelo, quando mais de uma estiver disponível (CORDEIRO, 2009).

## **Anexo B – Projeto de Arquitetura e Estilos Arquiteturais**

Um sistema pode ser decomposto em subsistemas que fornecem algum conjunto de serviços relacionados (SOMMERVILLE, 2003). O projeto de arquitetura é um processo inicial de projeto que visa identificar subsistemas e estabelecer um arcabouço para controle e comunicação destes, onde seu produto final é a obtenção de uma descrição arquitetural do sistema.

PRESSMAN (2003) destaca que arquitetura não é o software operacional, mas sim uma representação onde o engenheiro de software deve analisar a efetividade do projeto em satisfazer a seus requisitos propostos, identificar alternativas arquiteturais capazes de modificar e tornar a ferramenta de fácil implementação e buscar mecanismos que reduzam os riscos associados à construção do software.

JONES (1988) propôs níveis de coesão e acoplamento dentro do Projeto Estruturado de Sistemas. O Projeto Estruturado do Sistema consiste em transformar as exigências de usuário apresentadas pela etapa de Análise em um plano de execução com a automatização eletrônica. Nesta fase, de forma diferente à Análise, hardware e software são levados em consideração, bem como suas limitações.

Segundo JONES (1988), toda implementação visa uma organização modular com um baixo nível de acoplamento a fim de reduzir a propagação de erros para outros módulos quando ocorre alguma mudança. Isso promove maior resiliência ao software, o que também evita que suas propriedades fundamentais sejam comprometidas. O baixo acoplamento diminui a interdependência entre os módulos, que lhes dá maior poder funcional, isto é, faz-lhes módulos auto-suficientes. Isto está relacionado à característica modular conhecida por coesão.

Na construção de uma ferramenta, PRESSMAN (2006) aponta nove conceitos fundamentais em projeto de software:

- Abstração
- Arquitetura
- Modularidade

- Ocultamento da Informação
- Independência Funcional
- Refinamento
- Refabricação
- Padrões
- Classes de Projeto

### **Arquitetura Orientada por Modelos (MDA)**

Publicada em 2000 pelo Grupo de Gerenciamento de Objetos (OMG), inicialmente empregava tecnologias existentes que suportassem os padrões OMG existentes e futuros, de modo que os modelos de objetos se tornassem ativos (bens) em vez de despesas (MELLOR *et. al*, 2005).

Com o objetivo de obter uma *interoperabilidade entre modelos* em tempo de projeto, tornando-os bens ativos, a MDA permite que modelos sejam construídos sem o conhecimento de outros modelos existentes no sistema, postergando a combinação entre modelos até o último momento que antecede a criação do sistema.

Isto é feito geralmente através do aumento do nível de abstração no qual um programador está trabalhando, com foco na formalização das novas camadas de abstração e ocultação dos detalhes das camadas mais inferiores, de modo que somente alguns especialistas (criadores de compiladores, por exemplo) precisam se preocupar sozinhos com os detalhes de funcionamento dessas camadas (MELLOR *et. al*, 2005).

FIORIO (2007) destaca que através dos três objetivos principais da MDA, portabilidade, interoperabilidade e reutilização, e através da separação arquitetural de interesses, mecanismos são definidos para especificar um sistema independentemente da plataforma que o suporta, especificar plataformas, escolher uma plataforma para um sistema e transformar a especificação do sistema em uma plataforma específica. Neste contexto, o conceito por trás da “orientação a modelos”

manifesta-se com vistas ao direcionamento do entendimento, projeto, construção, instalação e manutenção de sistemas.

### **Arquitetura de Modelos de Objetos Adaptáveis (AOM)**

A diversidade semântica manifestada através da pluralidade dos modelos de domínios existentes, além da inerente ocultação de regras de negócio, ou de conhecimento, dentro de classes que as estruturam e as delimitam, são características presentes em diversas abordagens da Engenharia de Software para o desenvolvimento de modelos.

A Arquitetura Orientada por Modelos apresentada na seção anterior, por exemplo, apresenta um grau intermediário de desmembramento entre as estruturas autocontidas, ou classes, que estabelecem e delimitam o escopo do conjunto de regras que regem o modelo, ao passo que as regras de conhecimento não possuem semântica agregada em estruturas também autocontidas, ou seja, não são descritas por classes do modelo. Este fator corrobora para a redução da dinâmica necessária à calibração e adaptação dos modelos de interesse.

O estilo de Arquitetura de Modelos de Objetos Adaptáveis (*Adaptive Object-Model Architecture Style* - AOM) é uma alternativa ao projeto orientado a objetos convencional, onde sua maior vantagem reside na facilidade de mudança do sistema. A Arquitetura de Modelos de Objetos Adaptáveis é útil quando o sistema requer mudanças constantes ou, se desejável for, permite que o próprio usuário configure dinamicamente o seu sistema (YODER & JOHNSON, 2002). Estes autores classificam este estilo arquitetural como uma espécie de “meta-arquitetura”, que é projetada para adaptar aplicações aos novos requisitos em tempo de execução recuperando a informação descritiva igualmente interpretada em tempo de execução.

Um Modelo de Objetos Adaptáveis representa classes, atributos, relacionamentos e comportamento como metadados. Ao querer reproduzir mudanças no domínio, os usuários alteram os metadados (modelo de objetos) modificando assim o comportamento do sistema. Isso é possível uma vez que o Modelo de Objetos fica armazenado em um banco de dados ao invés de ser

programado de modo *hard-coded*, onde o sistema assume a tarefa de interpretação desses metadados. Sempre que o Modelo de Objetos tem sua informação descritiva modificada, o comportamento do sistema reflete aquelas modificações (YODER & JOHNSON, 2002).

POOLE (2001) apresenta nas arquiteturas baseadas em Modelos de Objetos Adaptáveis muitas vantagens, tais como a elevada interoperabilidade entre modelos, extensibilidade em *runtime*, construção totalmente dinâmica e flexível em termos de comportamento global, onde o conjunto de comportamentos que podem ser estabelecidos pela arquitetura não é vinculado à programação *hard-coded*.

THOMÉ (2005) aponta aspectos de adaptação e distribuição no contexto de sistemas móveis ao citar alguns trabalhos de pesquisa, como, por exemplo, AUGUSTIM (2002), CHEN, HILTUNEN e SCHILICHTINH (2001), PIRMEZ (2002), SILVA (2003) e SOUZA (2004), trabalhos onde, nos seus respectivos contextos, a “adaptação” refere-se principalmente à possibilidade de recuperação de falhas, ou seja, o sistema deve ser capaz de interromper ou iniciar uma determinada atividade dependendo do contexto em que se encontra. Sob este ângulo, a recuperação de falhas nesses trabalhos é vista como um “processo de adaptação”.

Porém, no contexto do trabalho de THOMÉ (2005), adaptação tem uma conotação diferente onde, além do comportamento dinâmico do sistema, é apresentada a capacidade de se criar novos elementos, em tempo de execução, alterando-se o domínio do sistema como uma proposta configurável e adaptável às várias missões de controle de satélite envolvidas em sua pesquisa.

THOMÉ apresenta também um indicativo de que modelos de objetos adaptáveis têm potencial para serem explorados como uma possível evolução da MDA, citando POOLE (2001), com seu trabalho apresentado no Workshop sobre meta-modelagem e modelos de objetos adaptáveis da OMG em 2001, e VADUVA (2001), com seu trabalho que versa sobre um formato conhecido e existente em ferramentas orientadas a metadados, onde apresenta o  $M^4$ , um metamodelo para pré-processamento de dados através de sua representação conceitual, dada a importância da reusabilidade de conceitos.

VADUVA (2001) mostra que estas ferramentas armazenam informações de controle, fora dos programas e aplicativos onde, em tempo de execução, essa

informação de controle (isto é, metadado) é lida, interpretada e dinamicamente vinculada a execução do software. Com o surgimento de novos requisitos, os metadados podem ser alterados sem que os programas que os compartilham sejam afetados e sem a necessidade de uma re-compilação desses programas.

Dado o relevante papel desempenhado pelo convívio amigável com o usuário, VADUVA (2001) destaca a camada conceitual como a parte mais importante para a representação dos dados na ferramenta M<sup>4</sup>, através da manipulação de duas classes chamadas *Concept* e *Relationship*, onde *Concept* representa “coisas” no domínio da aplicação, enquanto que *Relationship* representa a conexão existente entre dois conceitos.

## **Arquitetura Orientada a Serviços**

*Service Oriented Architecture* ou SOA é um paradigma de desenvolvimento de aplicações cujo objetivo é criar *módulos funcionais* chamados de *serviços*, com baixo acoplamento e permitindo a reutilização de código (SAMPAIO, 2006). Trata-se de um estilo de arquitetura de software que preconiza que as funcionalidades implementadas pelas aplicações devem ser oferecidas na forma de serviços remotos que permitam a sua comunicação através de padrões abertos (BONFIM, 2009).

Em uma arquitetura baseada em objetos, uma classe é um bloco fundamental. Criamos classes e mapeamos o relacionamento entre elas. No início da orientação a objetos a abordagem utilizada era criar um modelo de classes que atendesse aos requisitos do sistema. O problema com classes é que são muito específicas, ou seja, elas representam ou desempenham um determinado papel. Para serem úteis, normalmente, precisamos utilizar várias classes de forma colaborativa. Dizemos que a granularidade das classes é muito fina.

Com a evolução da WEB em direção ao paradigma WEB 2.0, os aplicativos, tal como conhecemos em seus formatos originais, passam a assumir um novo formato de execução, os chamados *Web Services*. Com isso, introduz-se o conceito de SOA (*Service Oriented Architecture*) que prevê a reutilização de recursos computacionais a partir de *Web Services* já existentes, acelerando o processo de

criação dos aplicativos através da técnica conhecida como *Mashup* (mistura): tudo o que se precisa fazer é planejar a composição de Web Services sem perder a preocupação com a possível indisponibilidade de tais recursos computacionais, já que sua obtenção é uma manifestação remota. Outra questão a ser analisada, não menos importante, refere-se à pluralidade de requisitos funcionais com os quais os novos aplicativos têm que lidar uma vez aplicada a técnica de *Mashup*. Tal aspecto se manifesta inerentemente à preocupação de se manter a resiliência dos aplicativos que, uma vez criados, precisam gerenciar a incorporação de novos recursos computacionais de forma transparente, sem que essas incorporações causem impacto no funcionamento dos módulos existentes.

Uma coleção de dados produzida por um programa pode, dada uma semântica apropriada, ser a coleção de entrada de outro programa, quer seja esse resultado uma imagem já processada, quer seja esse resultado uma coleção de parâmetros para a realização de um novo processamento que nos retornará uma nova imagem ou uma nova coleção de parâmetros num novo formato desejado.

Quando juntamos modelos de classes relacionadas para executar uma tarefa, podemos encapsulá-las em componentes, responsáveis por instanciar as classes necessárias para executar determinada tarefa. SOA visa criar componentes de granularidade grossa, chamados de serviços, que requerem baixo acoplamento com seus clientes. Para um componente ser considerado parte integrante de uma arquitetura SOA, deve ter ainda relevância e alto nível da transação executada. Essa característica muito se aproxima das características de criação de cenários de Casos de Uso da UML (OMG), sejam cenários principais, alternativos ou de exceção, que culminam em implementações do *Command Pattern* (GAMMA et al., 2000). Sendo assim, *Commands* são excelentes candidatos a serviços.

Um serviço é um componente que atende a uma função de negócio específica para seus clientes. Ele recebe requisições e as responde ocultando todo o detalhamento do seu processamento. Um serviço deve executar unidades completas de trabalho, não dependendo do estado de outros componentes externos. Assim, outra conclusão importante é que eles devem ser *Stateless*, ou seja, sem armazenamento de estado de conversação, o que aumenta a sua reutilização (SAMPAIO, 2006). Resumindo, um serviço executa uma função atômica ou uma

transação onde todas as etapas intermediárias devem ser gerenciadas apenas pelo serviço e não pelo cliente que irá utilizá-lo.

Na terminologia SOA, quem presta um serviço é um *Provider*, e quem o solicita é um *Consumer*. Essa terminologia ajuda a entender a granularidade de um serviço. Serviços nos quais os clientes têm que invocar mais de uma função e passar a saída de uma para outra, denotam alto acoplamento e granularidade fina. Podemos criar um programa que os invocam no momento apropriado, certificando-se que as pré-condições e pós-condições estejam atendidas. Podemos ainda organizá-los de maneira diferente ou mesmo pegar alguns serviços e colocá-los em outros fluxos (novos *workflows*, por exemplo). Para esse enfoque damos o nome de orquestração.

A orquestração é composta por um fluxo de etapas, com verificações de pré e pós condições, e um coordenador, responsável por dar andamento ao fluxo. Desta maneira, podemos mudar a ordem das etapas, acrescentar outras etapas, mudar os critérios de verificação ou mesmo criar outros fluxos sem alterar o código dos serviços.

*Business Process Execution Language* – BPEL é uma das linguagens utilizadas para se orquestrar o conjunto de serviços em um fluxo de negócios, dentro da área de modelagem de processos de negócios ou Business Process Modeling, que visa integrar os diversos fluxos de serviços. BPEL é a linguagem mais divulgada e uma das mais disseminadas para a abordagem *programming in the large*.

## **Arquitetura Orientada a Recursos**

Uma *Resource Oriented Architecture*, ou ROA, é um estilo arquitetural que objetiva caracterizar a dinâmica global da manipulação dos artefatos produzidos por um sistema, através de sua organização sob a forma de *recursos*. Estes recursos são reconhecidos a partir de identificadores universais através do uso de URI, sigla para *Uniform Resource Identifier*.

Uma Arquitetura Orientada a Recursos é fortemente apoiada no uso do protocolo HTTP, atualmente em sua versão 1.1, e está fundamentada na *transferência de estados representacionais* dos recursos, ou simplesmente REST.

Esta fundamentação caracterizada pela transferência de estados possui certo grau de compatibilidade com o conceito *programming in the large*, face à relevância sobre a preocupação com a identificação de estados, concentrando-se o REST em apelos representacionais e a programação em grande escala em apelos transacionais.

Por se tratar de uma visão sobre qual o melhor procedimento para se estruturar e alcançar arquiteturas orientadas a recursos, valendo-se de um estilo próprio de implementação de Serviços Web, o REST é abordado na seção seguinte.

### **Programação em Grande Escala (Programming in the large)**

Com o objetivo de contrastar dois contextos diferentes de desenvolvimento de software (DONAIRES, 2006), *programming in the small* (programação em pequena escala) e *programming in the large* (programação em grande escala) foram introduzidos na década de 70, onde a programação em pequena escala é o tipo de programação realizada por um único programador, ou um grupo pequeno.

Segundo SINGH et al. (2004), *programming in the large* é uma abordagem distinta da maioria dos estilos de programação convencional por vários motivos. *Programming in the large* enfatiza a reunião de grandes componentes de software, estabelecida com a participação de várias pessoas durante um grande intervalo de tempo, enquanto que *programming in the small* recai sobre o desenvolvimento de componentes individuais.

Refere-se, portanto, à programação de código que representa *transições de estado* de alto nível em um sistema com escala maior, ou seja, trabalha-se com os fluxos de serviços integrados vistos “do alto” e com visão globalizada. Sendo assim, a programação em grande escala requer habilidades de abstração para conceber, antes mesmo da implementação, módulos de software que juntos componham uma

arquitetura que minimize efeitos colaterais de mudanças previstas (DONAIRES, 2006).

Com o surgimento dos Serviços Web e Arquiteturas Orientadas a Serviço, houve uma retomada de interesse nas tecnologias para a modelagem e a promulgação dos processos distribuídos, através da simplificação da interoperabilidade entre sistemas. Este assunto é abordado na seção seguinte.

### **Soluções Web-Enabled vs. Web-Based**

Na corrida para o desenvolvimento de produtos que apresentassem características de automação através de uma interface gráfica que funcionasse dentro de um navegador *internet*, fabricantes de software adaptaram os *front-ends* dos seus produtos para fazer do seu *software* um *software Web-enabled*, com integração de características de gerência de correio eletrônico. Entretanto, seus produtos são *baseados* na arquitetura cliente-servidor, mas não na tecnologia Web.

Alguns outros fabricantes de software utilizaram a tecnologia Web não só como parte de suas plataformas, mas, principalmente, utilizaram como sendo a *própria plataforma*. Com este formato de solução a preocupação com a distribuição do software a todos os pontos de uma rede é muito reduzida, pois a aplicação não está simplesmente apoiada na Web, mas sim é a *própria manifestação da Web*. Este fato torna menor o custo operacional dessas soluções que se apóiam na escalabilidade nativa da proposta *Web-based*.

### **REST (REpresentational State Transfer)**

REST (*Representational State Transfer*) é um estilo de arquitetura cliente-servidor que se apresenta como uma proposta ou protocolo para programação leve, voltada para a criação de serviços *web*, e tem como preocupação proporcionar a *transferência de estados representacionais* dos recursos distribuídos gerenciados por aplicações *web*.

Possui como principais características:

- Trata-se de uma abordagem de implementação que não mantém estado (*Stateless*);
- Baseia - se na comunicação em operações definidas pelos métodos HTTP (GET, POST, PUT e DELETE) sobre recursos existentes;
- Dispensa o formalismo do modelo convencional de Serviços Web, baseados em UDDI<sup>39</sup>, WSDL<sup>40</sup> e SOAP<sup>41</sup>.

Pelo fato do Serviço Web REST se tratar de uma manifestação *stateless*, cabe ao cliente manter controle sobre o *estado* da aplicação, de forma que, cada requisição sua ao servidor, contenha todas as informações necessárias para que a requisição possa ser compreendida. O uso do protocolo HTTP, associado ao conceito de URIs, torna possível a realização da transferência de *representações* de *recursos* entre serviços.

Estas operações são realizadas através de requisições HTTP compostas de verbos e substantivos (BONFIM, 2009), onde os verbos são os métodos HTTP (GET, POST, PUT e DELETE) que permitem obter, criar, atualizar e remover recursos; e os substantivos são as próprias URIs que os identificam. A cada clique do usuário uma nova requisição será realizada, obtendo assim uma nova representação de um recurso e transferindo o estado da aplicação.

A definição do protocolo REST é baseada nos conceitos *recurso*, *representação*, *estado* e *transferência*. Um *recurso* é alguma coisa identificável por um mecanismo único chamado URI (*Uniform Resource Identifier*). Quando um *recurso* é requisitado via HTTP através da sua URI, sua *representação* é enviada ao cliente, descrita geralmente pelo formato XML<sup>42</sup> ou pelo formato JSON<sup>43</sup>. O *recurso*

---

<sup>39</sup> UDDI (*Universal Description Discovery Integration*) - É um diretório capaz de armazenar informações sobre Serviços Web, especialmente as interfaces descritas em WSDL. Comunica-se através de SOAP (BONFIM, 2009).

<sup>40</sup> WSDL (*Web Services Description Language*) - É um documento XML usado para descrever as interfaces dos Serviços Web. A versão 2.0 já é um padrão da W3C (BONFIM, 2009).

<sup>41</sup> Tanto SOAP quanto REST são protocolos independentes de plataforma para a comunicação com serviços remotos. O REST, no entanto, é uma técnica de comunicação baseada na Web onde a simplicidade é o principal diferencial com relação ao SOAP (BONFIM, 2009).

<sup>42</sup> XML (*eXtensible Markup Language*) é uma recomendação da W3C para gerar linguagens de marcação para necessidades especiais. É um subtipo de SGML (acrônimo de *Standard Generalized Markup Language*, ou Linguagem Padronizada de Marcação Genérica) capaz de descrever diversos tipos de dados. Seu propósito principal é a facilidade de compartilhamento de informações através da Internet (GOETZMANN, 2006).

está associado a um elemento físico que existe independentemente de qualquer sistema de informações, enquanto que sua *representação* digital é o que pode ser obtido na *Web*.

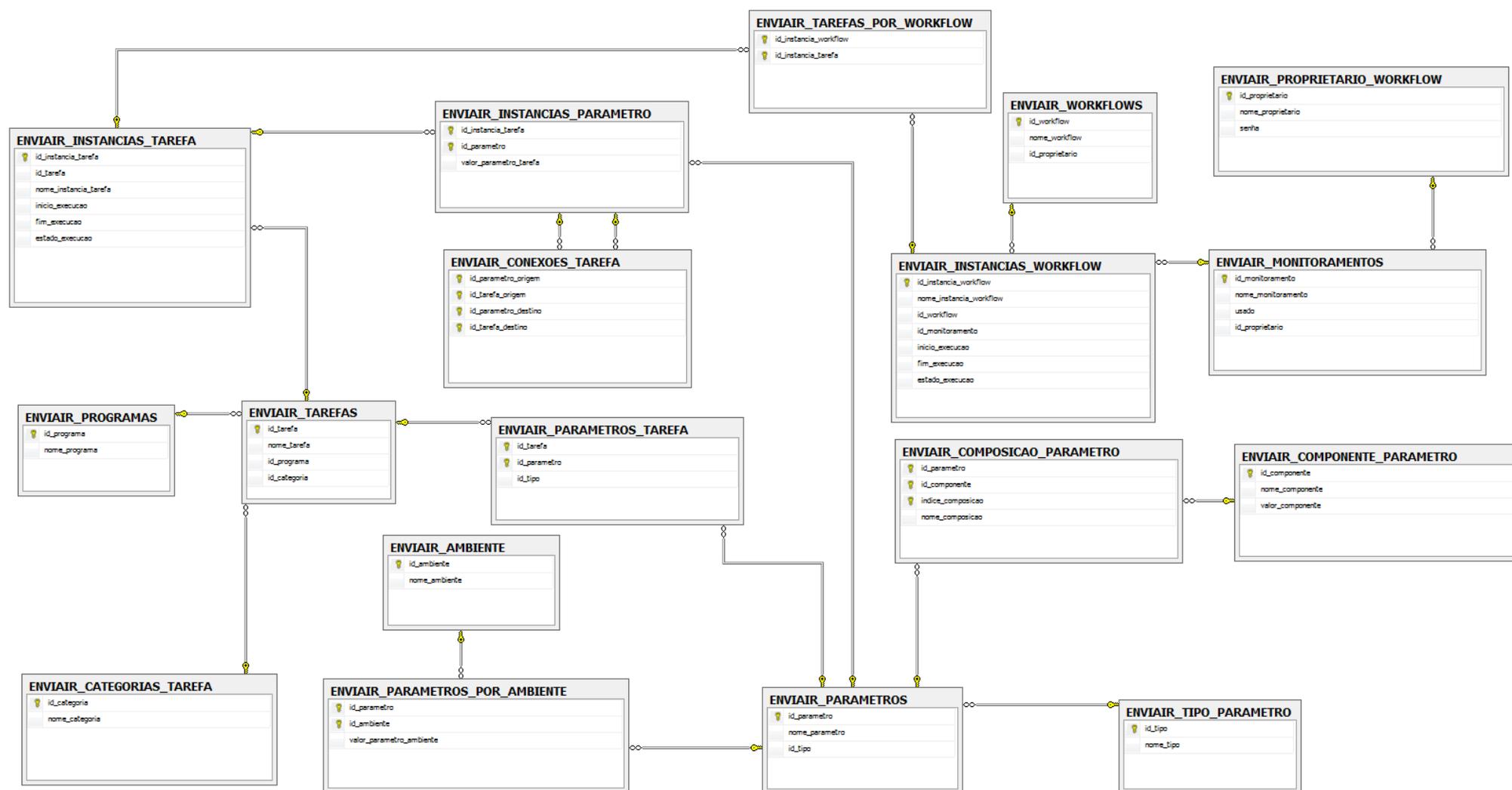
Conforme citação no item “Independência Funcional” (Anexo A), a finalidade modular é respeitada através do objetivo da comunicação modular por uma única *interface*, ao se destacar a noção de transferência de recursos entre formas de organizações modulares, conhecidas como serviços *web*, que viabilizam a concepção de aplicações conhecidas como aplicações *Webtop* (WAINWRIGHT, 2007; BANGHAN, 2006). Percebe-se aqui a grande contribuição oferecida pelo Desenvolvimento Baseado em Componentes (DBC) ao estabelecer uma *interface* comum para comunicação, pois através da transferência de estados dos objetos suas *interfaces* uniformes podem ser consumidas remotamente também a partir recursos uniformes descritos em serviços *web*.

Em outras palavras, os componentes baseados em DBC não precisam sofrer qualquer alteração para serem acionados remotamente, em outro ponto da rede. A reprodutibilidade dos estados assumidos pelos objetos é assegurada e propagada entre o lado cliente e o lado servidor, através de *Identificadores Uniformes de Recursos* (URI) e a aplicação do padrão *Service Layer* (FOWLER, 2006c), permitindo que se comuniquem como se estivessem trabalhando dentro de um mesmo contêiner processador (JONES, 1988).

---

<sup>43</sup> JSON (*JavaScript Object Notation*), é um formato leve para intercâmbio de dados baseado na sintaxe definida no padrão ECMAScript, podendo sua interpretação e geração ser realizada através de qualquer outra linguagem, para definição de estruturas de dados, tais como coleções ou listas ordenadas de valores (referência) e apresenta as vantagens de ser facilmente lido ou escrito tanto por humanos quanto por máquinas (BONFIM, 2009).

## Anexo C – Esquema de Tabelas para gravação dos metadados do *workflow* científico (Projeto ENVAIR)



## Anexo D – Script SQL de criação das tabelas para gravação dos metadados usados pelo *workflow* científico (Projeto ENVIAIR)

```

USE [ENVIAIR]
GO
/***** Object: Table [dbo].[ENVIAIR_AMBIENTE]      Script Date: 05/23/2010
00:04:48 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAIR_AMBIENTE](
    [id_ambiente] [int] NOT NULL,
    [nome_ambiente] [varchar](100) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_AMBIENTE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_ambiente] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAIR_CATEGORIAS_TAREFA]      Script Date:
05/23/2010 00:04:59 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAIR_CATEGORIAS_TAREFA](
    [id_categoria] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_categoria] [varchar](100) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_CATEGORIAS_TAREFA] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_categoria] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAIR_COMPONENTE_PARAMETRO]      Script Date:
05/23/2010 00:05:06 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAIR_COMPONENTE_PARAMETRO](
    [id_componente] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_componente] [nvarchar](255) NULL,
    [valor_componente] [nvarchar](255) NULL,

```

```

CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_COMPONENTE_PARAMETRO] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_componente] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO]    Script Date:
05/23/2010 00:05:11 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO](
    [id_parametro] [int] NOT NULL,
    [id_componente] [int] NOT NULL,
    [indice_composicao] [int] NOT NULL,
    [nome_composicao] [nvarchar](255) NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_parametro] ASC,
    [id_componente] ASC,
    [indice_composicao] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

```

GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO_ENVIAIR_COMPONENTE_PARAMETRO]
FOREIGN KEY([id_componente])
REFERENCES [dbo].[ENVAIR_COMPONENTE_PARAMETRO] ([id_componente])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO_ENVIAIR_COMPONENTE_PARAMETRO]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO_ENVIAIR_PARAMETROS] FOREIGN
KEY([id_parametro])
REFERENCES [dbo].[ENVAIR_PARAMETROS] ([id_parametro])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_COMPOSICAO_PARAMETRO_ENVIAIR_PARAMETROS]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVAIR_CONEXOES_TAREFA]    Script Date:
05/23/2010 00:05:17 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVAIR_CONEXOES_TAREFA](
    [id_parametro_origem] [int] NOT NULL,
    [id_tarefa_origem] [int] NOT NULL,

```

```

        [id_parametro_destino] [int] NOT NULL,
        [id_tarefa_destino] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_CONEXAO] PRIMARY KEY CLUSTERED
    (
        [id_parametro_origem] ASC,
        [id_tarefa_origem] ASC,
        [id_parametro_destino] ASC,
        [id_tarefa_destino] ASC
    )WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
    OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
    ) ON [PRIMARY]

GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_CONEXOES_TAREFA] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_CONEXAO_ENVIAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO_DESTINO] FOREIGN
KEY([id_tarefa_destino], [id_parametro_destino])
REFERENCES [dbo].[ENVAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO] ([id_instancia_tarefa],
[id_parametro])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_CONEXOES_TAREFA] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_CONEXAO_ENVIAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO_DESTINO]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_CONEXOES_TAREFA] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_CONEXAO_ENVIAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO_ORIGEM] FOREIGN
KEY([id_tarefa_origem], [id_parametro_origem])
REFERENCES [dbo].[ENVAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO] ([id_instancia_tarefa],
[id_parametro])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_CONEXOES_TAREFA] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_CONEXAO_ENVIAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO_ORIGEM]

USE [ENVAIR]
GO
/***** Object: Table [dbo].[ENVAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO] Script Date:
05/23/2010 00:05:21 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO](
    [id_instancia_tarefa] [int] NOT NULL,
    [id_parametro] [int] NOT NULL,
    [valor_parametro_tarefa] [varchar](200) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO] PRIMARY KEY CLUSTERED
    (
        [id_instancia_tarefa] ASC,
        [id_parametro] ASC
    )WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
    OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
    ) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAIR_INSTANCIAS_PARAMETRO_ENVIAIR_INSTANCIAS_TAREFA]
FOREIGN KEY([id_instancia_tarefa])

```

```

REFERENCES [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA] ([id_instancia_tarefa])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_PARAMETRO] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_PARAMETRO_ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_PARAMETRO] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAR_INSTANCIAS_PARAMETRO_ENVIAR_PARAMETROS] FOREIGN
KEY([id_parametro])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS] ([id_parametro])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_PARAMETRO] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_PARAMETRO_ENVIAR_PARAMETROS]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA] Script Date:
05/23/2010 00:05:30 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA](
    [id_instancia_tarefa] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [id_tarefa] [int] NOT NULL,
    [nome_instancia_tarefa] [varchar](100) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_instancia_tarefa] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA_ENVIAR_TAREFAS] FOREIGN KEY([id_tarefa])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_TAREFAS] ([id_tarefa])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_TAREFA_ENVIAR_TAREFAS]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW] Script Date:
05/23/2010 00:05:35 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW](
    [id_instancia_workflow] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_instancia_workflow] [varchar](100) NULL,
    [id_workflow] [int] NOT NULL,
    [id_monitoramento] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW] PRIMARY KEY CLUSTERED

```

```

(
    [id_instancia_workflow] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW_ENVIAR_MONITORAMENTOS] FOREIGN
KEY([id_monitoramento])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_MONITORAMENTOS] ([id_monitoramento])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW_ENVIAR_MONITORAMENTOS]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW_ENVIAR_WORKFLOWS] FOREIGN
KEY([id_workflow])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_WORKFLOWS] ([id_workflow])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_INSTANCIAS_WORKFLOW_ENVIAR_WORKFLOWS]

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_MONITORAMENTOS] Script Date:
05/23/2010 00:05:39 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_MONITORAMENTOS](
    [id_monitoramento] [int] NOT NULL,
    [nome_monitoramento] [varchar](100) NOT NULL,
    [usado] [int] NOT NULL,
    [id_proprietario] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_MONITORAMENTO] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_monitoramento] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_MONITORAMENTOS] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_MONITORAMENTOS_ENVIAR_PROPRIETARIO_WORKFLOW] FOREIGN
KEY([id_proprietario])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_PROPRIETARIO_WORKFLOW] ([id_proprietario])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_MONITORAMENTOS] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_MONITORAMENTOS_ENVIAR_PROPRIETARIO_WORKFLOW]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS]      Script Date:
05/23/2010 00:05:44 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS](
    [id_parametro] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_parametro] [nvarchar](255) NOT NULL,
    [id_tipo] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_PARAMETROS] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_parametro] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETROS_ENVIAR_TIPO_PARAMETRO] FOREIGN KEY([id_tipo])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_TIPO_PARAMETRO] ([id_tipo])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETROS_ENVIAR_TIPO_PARAMETRO]

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE]      Script
Date: 05/23/2010 00:05:49 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE](
    [id_parametro] [int] NOT NULL,
    [id_ambiente] [int] NOT NULL,
    [valor_parametro_ambiente] [nvarchar](200) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_parametro] ASC,
    [id_ambiente] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE_ENVIAR_AMBIENTE] FOREIGN
KEY([id_ambiente])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_AMBIENTE] ([id_ambiente])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE_ENVIAR_AMBIENTE]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE_ENVIAR_PARAMETROS] FOREIGN
KEY([id_parametro])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS] ([id_parametro])
GO

```

```
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETROS_POR_AMBIENTE_ENVIAR_PARAMETROS]
/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_TAREFA] Script Date:
05/23/2010 00:05:53 *****/
```

```
SET ANSI_NULLS ON
```

```
GO
```

```
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
```

```
GO
```

```
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_TAREFA](
    [id_tarefa] [int] NOT NULL,
    [id_parametro] [int] NOT NULL,
    [id_tipo] [int] NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_PARAMETRO_TAREFA] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_tarefa] ASC,
    [id_parametro] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
```

```
GO
```

```
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_TAREFA] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETRO_TAREFA_ENVIAR_PARAMETROS] FOREIGN
KEY([id_parametro])
```

```
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS] ([id_parametro])
```

```
GO
```

```
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_TAREFA] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETRO_TAREFA_ENVIAR_PARAMETROS]
```

```
GO
```

```
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_TAREFA] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETRO_TAREFA_ENVIAR_TAREFAS] FOREIGN KEY([id_tarefa])
```

```
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_TAREFAS] ([id_tarefa])
```

```
GO
```

```
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_PARAMETROS_TAREFA] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_PARAMETRO_TAREFA_ENVIAR_TAREFAS]
```

```
/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_PROGRAMAS] Script Date: 05/23/2010
00:05:58 *****/
```

```
SET ANSI_NULLS ON
```

```
GO
```

```
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
```

```
GO
```

```
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_PROGRAMAS](
    [id_programa] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_programa] [nvarchar](255) NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_PROGRAMAS] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_programa] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
```

```
/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_PROPRIETARIO_WORKFLOW] Script
Date: 05/23/2010 00:06:03 *****/
```

```
SET ANSI_NULLS ON
```

```
GO
```

```

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_PROPRIETARIO_WORKFLOW](
    [id_proprietario] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_proprietario] [varchar](100) NULL,
    [senha] [varchar](100) NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_PROPRIETARIO_WORKFLOW] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_proprietario] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_TAREFAS]      Script Date: 05/23/2010
00:06:07 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAR_TAREFAS](
    [id_tarefa] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_tarefa] [nvarchar](255) NOT NULL,
    [id_programa] [int] NOT NULL,
    [id_categoria] [int] NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAR_TAREFAS] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_tarefa] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_TAREFAS] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_TAREFAS_ENVIAR_CATEGORIAS_TAREFA] FOREIGN KEY([id_categoria])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_CATEGORIAS_TAREFA] ([id_categoria])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_TAREFAS] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_TAREFAS_ENVIAR_CATEGORIAS_TAREFA]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_TAREFAS] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_TAREFAS_ENVIAR_PROGRAMAS] FOREIGN KEY([id_programa])
REFERENCES [dbo].[ENVIAR_PROGRAMAS] ([id_programa])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAR_TAREFAS] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAR_TAREFAS_ENVIAR_PROGRAMAS]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAR_TAREFAS_POR_WORKFLOW]      Script Date:
05/23/2010 00:06:11 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO

```

```

SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW](
    [id_instancia_workflow] [int] NOT NULL,
    [id_instancia_tarefa] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_instancia_tarefa] ASC,
    [id_instancia_workflow] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW_ENVIAIR_INSTANCIAS_TAREFA]
FOREIGN KEY([id_instancia_tarefa])
REFERENCES [dbo].[ENVIAIR_INSTANCIAS_TAREFA] ([id_instancia_tarefa])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW_ENVIAIR_INSTANCIAS_TAREFA]
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW_ENVIAIR_INSTANCIAS_WORKFLOW]
FOREIGN KEY([id_instancia_workflow])
REFERENCES [dbo].[ENVIAIR_INSTANCIAS_WORKFLOW] ([id_instancia_workflow])
GO
ALTER TABLE [dbo].[ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW] CHECK CONSTRAINT
[FK_ENVIAIR_TAREFAS_POR_WORKFLOW_ENVIAIR_INSTANCIAS_WORKFLOW]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAIR_TIPO_PARAMETRO] Script Date:
05/23/2010 00:06:15 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAIR_TIPO_PARAMETRO](
    [id_tipo] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_tipo] [varchar](50) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_TIPO_PARAMETRO] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_tipo] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

```

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[ENVIAIR_WORKFLOWS] Script Date: 05/23/2010
00:06:20 *****/

```

```

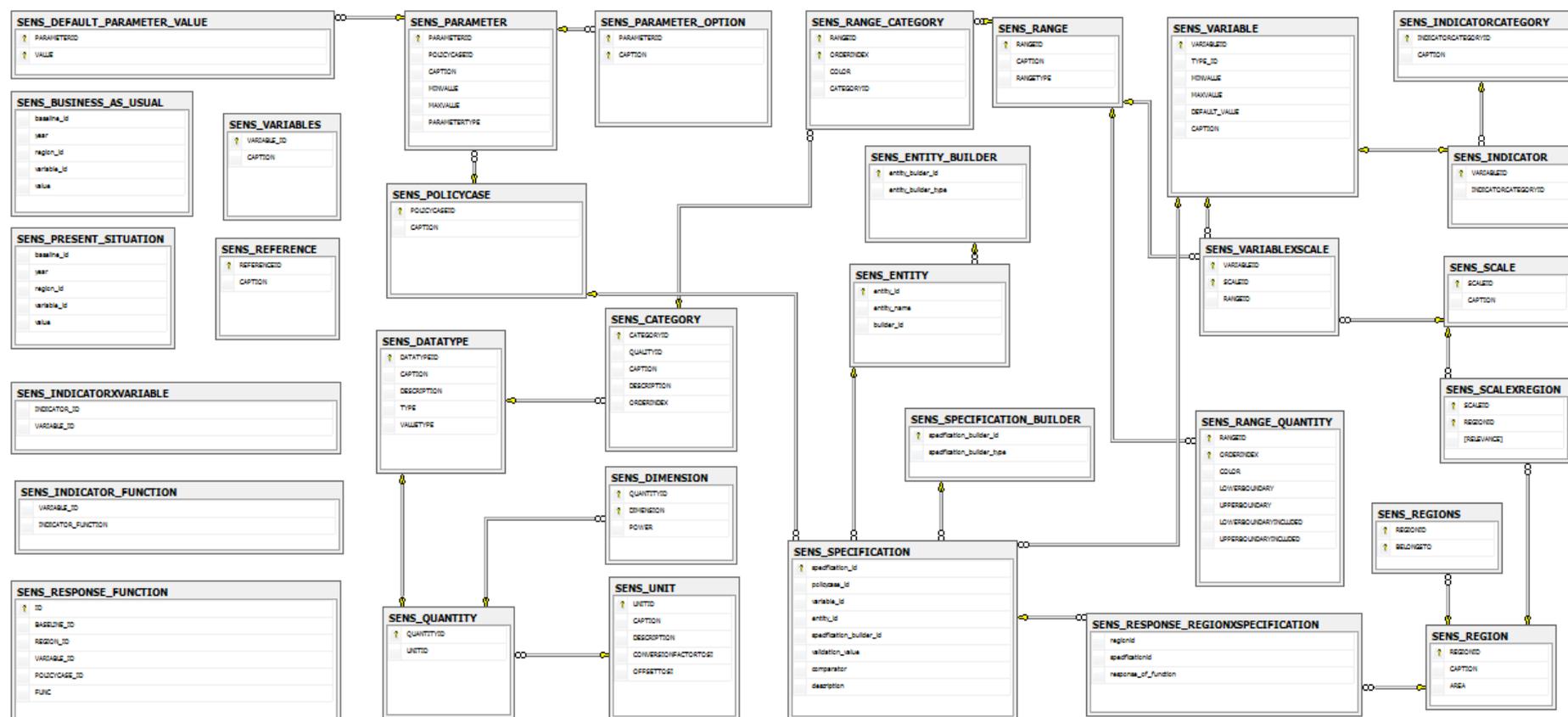
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON

```

```
GO
CREATE TABLE [dbo].[ENVIAIR_WORKFLOWS](
    [id_workflow] [int] IDENTITY(1,1) NOT NULL,
    [nome_workflow] [varchar](100) NULL,
    [id_proprietario] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_ENVIAIR_WORKFLOWS] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [id_workflow] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
```

## Anexo E – Esquema de Tabelas para gravação dos metadados de modelos do SIAT-TTC (SENSOR)



## Anexo F – Script SQL das tabelas com os metadados dos modelos SIAT-TTC (SENSOR)

```

USE [SENSOR]
GO
/***** Object: Table [dbo].[SENS_BUSINESS_AS_USUAL]    Script Date:
05/23/2010 14:58:55 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_BUSINESS_AS_USUAL](
    [baseline_id] [int] NOT NULL,
    [year] [int] NOT NULL,
    [region_id] [varchar](25) NOT NULL,
    [variable_id] [varchar](25) NOT NULL,
    [value] [numeric](18, 0) NULL
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

/***** Object: Table [dbo].[SENS_CATEGORY]    Script Date: 05/23/2010
15:00:02 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_CATEGORY](
    [CATEGORYID] [varchar](25) NOT NULL,
    [QUALITYID] [varchar](25) NULL,
    [CAPTION] [varchar](50) NOT NULL,
    [DESCRIPTION] [varchar](1024) NULL,
    [ORDERINDEX] [int] NULL,
    CONSTRAINT [PK_CATEGORY] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [CATEGORYID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_CATEGORY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_CATEGORY_DATATYPE] FOREIGN KEY([QUALITYID])
REFERENCES [dbo].[SENS_DATATYPE] ([DATATYPEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_CATEGORY] CHECK CONSTRAINT [FK_CATEGORY_DATATYPE]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_DATATYPE]      Script Date: 05/23/2010
15:00:21 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_DATATYPE](
    [DATATYPEID] [varchar](25) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NOT NULL,
    [DESCRIPTION] [varchar](1024) NULL,
    [TYPE] [varchar](255) NOT NULL,
    [VALUETYPE] [varchar](25) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_DATATYPE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [DATATYPEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_DEFAULT_PARAMETER_VALUE]      Script Date:
05/23/2010 15:00:38 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_DEFAULT_PARAMETER_VALUE](
    [PARAMETERID] [varchar](5) NOT NULL,
    [VALUE] [varchar](25) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_DEFAULT_PARAMETER_VALUE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [PARAMETERID] ASC,
    [VALUE] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_DEFAULT_PARAMETER_VALUE] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_DEFAULT_PARAMETER_VALUE_PARAMETER] FOREIGN
KEY([PARAMETERID])
REFERENCES [dbo].[SENS_PARAMETER] ([PARAMETERID])
ON DELETE CASCADE
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_DEFAULT_PARAMETER_VALUE] CHECK CONSTRAINT
[FK_DEFAULT_PARAMETER_VALUE_PARAMETER]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_DIMENSION]      Script Date: 05/23/2010
15:00:55 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_DIMENSION](
    [QUANTITYID] [varchar](25) NOT NULL,
    [DIMENSION] [varchar](25) NOT NULL,
    [POWER] [numeric](18, 0) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_DIMENSION] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [QUANTITYID] ASC,
    [DIMENSION] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_DIMENSION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_DIMENSION_QUANTITY] FOREIGN KEY([QUANTITYID])
REFERENCES [dbo].[SENS_QUANTITY] ([QUANTITYID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_DIMENSION] CHECK CONSTRAINT [FK_DIMENSION_QUANTITY]

/***** Object: Table [dbo].[SENS_ENTITY]        Script Date: 05/23/2010
15:01:14 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_ENTITY](
    [entity_id] [int] NOT NULL,
    [entity_name] [varchar](50) NOT NULL,
    [builder_id] [int] NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_SENS_ENTITY] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [entity_id] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_ENTITY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SENS_ENTITY_SENS_ENTITY_BUILDER] FOREIGN KEY([builder_id])
REFERENCES [dbo].[SENS_ENTITY_BUILDER] ([entity_buider_id])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_ENTITY] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_ENTITY_SENS_ENTITY_BUILDER]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_ENTITY_BUILDER]      Script Date:
05/23/2010 15:01:39 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_ENTITY_BUILDER](
    [entity_buider_id] [int] NOT NULL,
    [entity_builder_type] [varchar](50) NULL,
    CONSTRAINT [PK_SENS_ENTITY_BUILDER] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [entity_buider_id] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

/***** Object: Table [dbo].[SENS_INDICATOR]      Script Date: 05/23/2010
15:01:59 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_INDICATOR](
    [VARIABLEID] [varchar](10) NOT NULL,
    [INDICATORCATEGORYID] [varchar](5) NULL,
    CONSTRAINT [PK_INDICATOR] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [VARIABLEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_INDICATOR] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_INDICATOR_CATEGORY] FOREIGN KEY([INDICATORCATEGORYID])
REFERENCES [dbo].[SENS_INDICATORCATEGORY] ([INDICATORCATEGORYID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_INDICATOR] CHECK CONSTRAINT [FK_INDICATOR_CATEGORY]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_INDICATOR] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_INDICATOR_VARIABLE] FOREIGN KEY([VARIABLEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_VARIABLE] ([VARIABLEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_INDICATOR] CHECK CONSTRAINT [FK_INDICATOR_VARIABLE]

```

```
/****** Object: Table [dbo].[SENS_INDICATOR_FUNCTION] Script Date:
05/23/2010 15:02:19 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_INDICATOR_FUNCTION](
    [VARIABLE_ID] [varchar](25) NOT NULL,
    [INDICATOR_FUNCTION] [varchar](1000) NOT NULL
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
```

```
/****** Object: Table [dbo].[SENS_INDICATORCATEGORY] Script Date:
05/23/2010 15:03:05 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_INDICATORCATEGORY](
    [INDICATORCATEGORYID] [varchar](5) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](50) NULL,
    CONSTRAINT [PK_INDICATORCATEGORY] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [INDICATORCATEGORYID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
```

```
/****** Object: Table [dbo].[SENS_INDICATORXVARIABLE] Script Date:
05/23/2010 15:03:27 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_INDICATORXVARIABLE](
    [INDICATOR_ID] [varchar](25) NOT NULL,
    [VARIABLE_ID] [varchar](25) NOT NULL
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_PARAMETER]      Script Date: 05/23/2010
15:03:42 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_PARAMETER](
    [PARAMETERID] [varchar](5) NOT NULL,
    [POLICYCASEID] [varchar](10) NULL,
    [CAPTION] [varchar](50) NULL,
    [MINVALUE] [float] NULL,
    [MAXVALUE] [float] NULL,
    [PARAMETERTYPE] [varchar](10) NULL,
    CONSTRAINT [PK_PARAMETER] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [PARAMETERID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_PARAMETER] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_PARAMETER_POLICYCASE] FOREIGN KEY([POLICYCASEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_POLICYCASE] ([POLICYCASEID])
ON DELETE CASCADE
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_PARAMETER] CHECK CONSTRAINT
[FK_PARAMETER_POLICYCASE]

/***** Object: Table [dbo].[SENS_PARAMETER_OPTION]  Script Date:
05/23/2010 15:04:12 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_PARAMETER_OPTION](
    [PARAMETERID] [varchar](5) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_PARAMETER_OPTION] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [PARAMETERID] ASC,
    [CAPTION] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_PARAMETER_OPTION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_PARAMETER_OPTION_PARAMETER] FOREIGN KEY([PARAMETERID])

```

```

REFERENCES [dbo].[SENS_PARAMETER] ([PARAMETERID])
ON DELETE CASCADE
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_PARAMETER_OPTION] CHECK CONSTRAINT
[FK_PARAMETER_OPTION_PARAMETER]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_POLICYCASE]      Script Date: 05/23/2010
15:04:34 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_POLICYCASE](
    [POLICYCASEID] [varchar](10) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NULL,
    CONSTRAINT [PK_POLICYCASE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [POLICYCASEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_PRESENT_SITUATION]  Script Date:
05/23/2010 15:04:55 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_PRESENT_SITUATION](
    [baseline_id] [int] NOT NULL,
    [year] [int] NOT NULL,
    [region_id] [varchar](25) NOT NULL,
    [variable_id] [varchar](25) NOT NULL,
    [value] [numeric](18, 0) NULL
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_QUANTITY]      Script Date: 05/23/2010
15:05:14 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO

```

```

CREATE TABLE [dbo].[SENS_QUANTITY](
    [QUANTITYID] [varchar](25) NOT NULL,
    [UNITID] [varchar](25) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_QUANTITY] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [QUANTITYID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_QUANTITY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_QUANTITY_DATATYPE] FOREIGN KEY([QUANTITYID])
REFERENCES [dbo].[SENS_DATATYPE] ([DATATYPEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_QUANTITY] CHECK CONSTRAINT [FK_QUANTITY_DATATYPE]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_QUANTITY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_QUANTITY_UNIT] FOREIGN KEY([UNITID])
REFERENCES [dbo].[SENS_UNIT] ([UNITID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_QUANTITY] CHECK CONSTRAINT [FK_QUANTITY_UNIT]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_RANGE] Script Date: 05/23/2010
15:05:28 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_RANGE](
    [RANGEID] [varchar](5) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NULL,
    [RANGETYPE] [varchar](10) NULL,
    CONSTRAINT [PK_RANGE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [RANGEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_RANGE_CATEGORY] Script Date:
05/23/2010 15:06:05 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_RANGE_CATEGORY](

```

```

[RANGEID] [varchar](5) NOT NULL,
[ORDERINDEX] [int] NOT NULL,
[COLOR] [varchar](25) NULL,
[CATEGORYID] [varchar](25) NULL,
CONSTRAINT [RANGE_CATEGORY] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [RANGEID] ASC,
    [ORDERINDEX] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RANGE_CATEGORY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_RANGE_CATEGORY_CATEGORY] FOREIGN KEY([CATEGORYID])
REFERENCES [dbo].[SENS_CATEGORY] ([CATEGORYID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RANGE_CATEGORY] CHECK CONSTRAINT
[FK_RANGE_CATEGORY_CATEGORY]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RANGE_CATEGORY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_RANGE_CATEGORY_RANGE] FOREIGN KEY([RANGEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_RANGE] ([RANGEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RANGE_CATEGORY] CHECK CONSTRAINT
[FK_RANGE_CATEGORY_RANGE]

/***** Object: Table [dbo].[SENS_RANGE_QUANTITY] Script Date:
05/23/2010 15:06:35 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_RANGE_QUANTITY](
    [RANGEID] [varchar](5) NOT NULL,
    [ORDERINDEX] [int] NOT NULL,
    [COLOR] [varchar](25) NULL,
    [LOWERBOUNDARY] [float] NULL,
    [UPPERBOUNDARY] [float] NULL,
    [LOWERBOUNDARYINCLUDED] [int] NULL,
    [UPPERBOUNDARYINCLUDED] [int] NULL,
    CONSTRAINT [PK_RANGE_QUANTITY] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [RANGEID] ASC,
    [ORDERINDEX] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RANGE_QUANTITY] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_RANGE_QUANTITY_RANGE] FOREIGN KEY([RANGEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_RANGE] ([RANGEID])

```

```

GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RANGE_QUANTITY] CHECK CONSTRAINT
[FK_RANGE_QUANTITY_RANGE]
/***** Object: Table [dbo].[SENS_REFERENCE]      Script Date: 05/23/2010
15:07:01 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_REFERENCE](
    [REFERENCEID] [varchar](5) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NULL,
    CONSTRAINT [PK_REFERENCE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [REFERENCEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_REGION]      Script Date: 05/23/2010
15:07:21 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_REGION](
    [REGIONID] [varchar](5) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](60) NULL,
    [AREA] [float] NULL,
    CONSTRAINT [PK_REGION] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [REGIONID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_REGIONS]      Script Date: 05/23/2010
15:07:47 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_REGIONS](
    [REGIONID] [varchar](5) NOT NULL,
    [BELONGSTO] [varchar](5) NOT NULL,

```

```

CONSTRAINT [PK_REGIONS] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [REGIONID] ASC,
    [BELONGSTO] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_REGIONS] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_REGIONS_REGION1] FOREIGN KEY([REGIONID])
REFERENCES [dbo].[SENS_REGION] ([REGIONID])
ON DELETE CASCADE
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_REGIONS] CHECK CONSTRAINT [FK_REGIONS_REGION1]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_REGIONS] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_REGIONS_REGION2] FOREIGN KEY([BELONGSTO])
REFERENCES [dbo].[SENS_REGION] ([REGIONID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_REGIONS] CHECK CONSTRAINT [FK_REGIONS_REGION2]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_RESPONSE_FUNCTION] Script Date:
05/23/2010 15:15:56 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_RESPONSE_FUNCTION](
    [ID] [int] NOT NULL,
    [BASELINE_ID] [int] NOT NULL,
    [REGION_ID] [varchar](25) NOT NULL,
    [VARIABLE_ID] [varchar](25) NOT NULL,
    [POLICYCASE_ID] [varchar](25) NOT NULL,
    [FUNC] [varchar](1000) NOT NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [ID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION] Script
Date: 05/23/2010 15:16:16 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON

```

```

GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION](
    [regionid] [varchar](5) NULL,
    [specificationid] [int] NULL,
    [response_of_function] [varchar](1000) NULL
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_SENS_REGIONXSPECIFICATION_SENS_REGION] FOREIGN
KEY([regionid])
REFERENCES [dbo].[SENS_REGION] ([REGIONID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_REGIONXSPECIFICATION_SENS_REGION]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION] WITH CHECK ADD
CONSTRAINT [FK_SENS_REGIONXSPECIFICATION_SENS_SPECIFICATION] FOREIGN
KEY([specificationid])
REFERENCES [dbo].[SENS_SPECIFICATION] ([specification_id])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_RESPONSE_REGIONXSPECIFICATION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_REGIONXSPECIFICATION_SENS_SPECIFICATION]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_SCALE] Script Date: 05/23/2010
15:16:50 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_SCALE](
    [SCALEID] [varchar](5) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NULL,
    CONSTRAINT [PK_SCALE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [SCALEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_SCALEXREGION] Script Date: 05/23/2010
15:17:07 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO

```

```

CREATE TABLE [dbo].[SENS_SCALEXREGION](
    [SCALEID] [varchar](5) NOT NULL,
    [REGIONID] [varchar](5) NOT NULL,
    [RELEVANCE] [bit] NULL,
    CONSTRAINT [PK_SCALEXREGION] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [SCALEID] ASC,
    [REGIONID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SCALEXREGION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SCALEXREGION_REGION] FOREIGN KEY([REGIONID])
REFERENCES [dbo].[SENS_REGION] ([REGIONID])
ON DELETE CASCADE
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SCALEXREGION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SCALEXREGION_REGION]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SCALEXREGION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SCALEXREGION_SCALE] FOREIGN KEY([SCALEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_SCALE] ([SCALEID])
ON DELETE CASCADE
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SCALEXREGION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SCALEXREGION_SCALE]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_SPECIFICATION]      Script Date:
05/23/2010 15:17:32 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION](
    [specification_id] [int] NOT NULL,
    [policycase_id] [varchar](10) NOT NULL,
    [variable_id] [varchar](10) NOT NULL,
    [entity_id] [int] NOT NULL,
    [specification_builder_id] [int] NOT NULL,
    [validation_value] [varchar](10) NOT NULL,
    [comparator] [varchar](10) NOT NULL,
    [description] [varchar](100) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_SENS_SPECIFICATION] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [specification_id] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO

```

```

ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_ENTITY] FOREIGN KEY([entity_id])
REFERENCES [dbo].[SENS_ENTITY] ([entity_id])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_ENTITY]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_POLICYCASE] FOREIGN KEY([policycase_id])
REFERENCES [dbo].[SENS_POLICYCASE] ([POLICYCASEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_POLICYCASE]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_SPECIFICATION_BUILDER] FOREIGN
KEY([specification_builder_id])
REFERENCES [dbo].[SENS_SPECIFICATION_BUILDER] ([specification_builder_id])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_SPECIFICATION_BUILDER]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_VARIABLE] FOREIGN KEY([variable_id])
REFERENCES [dbo].[SENS_VARIABLE] ([VARIABLEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_SPECIFICATION_SENS_VARIABLE]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_SPECIFICATION_BUILDER] Script Date:
05/23/2010 15:17:54 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_SPECIFICATION_BUILDER](
    [specification_builder_id] [int] NOT NULL,
    [specification_builder_type] [varchar](50) NULL,
    CONSTRAINT [PK_SENS_SPECIFICATION_BUILDER] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [specification_builder_id] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]
GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_UNIT] Script Date: 05/23/2010
15:18:15 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON

```

```

GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_UNIT](
    [UNITID] [varchar](25) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](25) NULL,
    [DESCRIPTION] [varchar](1024) NULL,
    [CONVERSIONFACTORTOSI] [numeric](18, 0) NOT NULL,
    [OFFSETTOSI] [numeric](18, 0) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_UNIT] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [UNITID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_VARIABLE]      Script Date: 05/23/2010
15:18:30 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_VARIABLE](
    [VARIABLEID] [varchar](10) NOT NULL,
    [TYPE_ID] [int] NOT NULL,
    [MINVALUE] [float] NULL,
    [MAXVALUE] [float] NULL,
    [DEFAULT_VALUE] [nchar](10) NULL,
    [CAPTION] [varchar](255) NULL,
    CONSTRAINT [PK_VARIABLE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [VARIABLEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLE] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_SENS_VARIABLE_SENS_VARIABLEEXTYPE] FOREIGN KEY([TYPE_ID])
REFERENCES [dbo].[SENS_VARIABLE_TYPE] ([variable_type_id])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLE] CHECK CONSTRAINT
[FK_SENS_VARIABLE_SENS_VARIABLEEXTYPE]

```

```

/***** Object: Table [dbo].[SENS_VARIABLE_TYPE]  Script Date:
05/23/2010 15:18:47 *****/

```

```

SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON

```

```

GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_VARIABLE_TYPE](
    [variable_type_id] [int] NOT NULL,
    [variable_type_description] [varchar](50) NOT NULL,
    CONSTRAINT [PK_SENS_VARIABLEEXTYPE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [variable_type_id] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

/***** Object: Table [dbo].[SENS_VARIABLES]      Script Date: 05/23/2010
15:19:02 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_VARIABLES](
    [VARIABLE_ID] [varchar](25) NOT NULL,
    [CAPTION] [varchar](50) NULL,
PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [VARIABLE_ID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

GO
SET ANSI_PADDING OFF

/***** Object: Table [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE]  Script Date:
05/23/2010 15:20:04 *****/
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
SET ANSI_PADDING ON
GO
CREATE TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE](
    [VARIABLEID] [varchar](10) NOT NULL,
    [SCALEID] [varchar](5) NOT NULL,
    [RANGEID] [varchar](5) NULL,
    CONSTRAINT [PK_VARIABLEXSCALE] PRIMARY KEY CLUSTERED
(
    [VARIABLEID] ASC,
    [SCALEID] ASC
)WITH (PAD_INDEX = OFF, STATISTICS_NORECOMPUTE = OFF, IGNORE_DUP_KEY =
OFF, ALLOW_ROW_LOCKS = ON, ALLOW_PAGE_LOCKS = ON) ON [PRIMARY]
) ON [PRIMARY]

```

```
GO
SET ANSI_PADDING OFF
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_VARIABLEXSCALE_RANGE] FOREIGN KEY([RANGEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_RANGE] ([RANGEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE] CHECK CONSTRAINT
[FK_VARIABLEXSCALE_RANGE]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_VARIABLEXSCALE_SCALE] FOREIGN KEY([SCALEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_SCALE] ([SCALEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE] CHECK CONSTRAINT
[FK_VARIABLEXSCALE_SCALE]
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE] WITH CHECK ADD CONSTRAINT
[FK_VARIABLEXSCALE_VARIABLE] FOREIGN KEY([VARIABLEID])
REFERENCES [dbo].[SENS_VARIABLE] ([VARIABLEID])
GO
ALTER TABLE [dbo].[SENS_VARIABLEXSCALE] CHECK CONSTRAINT
[FK_VARIABLEXSCALE_VARIABLE]
```

## Anexo G – Matrizes de Confusão

2000-2001	(merged)				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	34512	0	3	0	34515
2	0	196038	0	0	196038
3	20	0	281260	0	281280
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	<b>512651</b>
KAPPA:	0.9999				

2001-2002	(merged)				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	34488	2861	17	0	37366
2	0	192373	0	0	192373
3	44	804	281246	0	282094
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	<b>512651</b>
KAPPA:	0.9868				

2002-2003	(merged)				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	34386	5791	23	0	40200
2	0	187999	0	0	187999
3	146	2248	281240	0	283634
4	0	0	0	818	818

Total	34532	196038	281263	818	<b>512651</b>
<b>KAPPA:</b>	<b>0.9709</b>				

<b>2003-2004</b>	<b>(merged)</b>				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	34298	14375	23	0	48696
2	0	176523	0	0	176523
3	234	5140	281240	0	286614
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	<b>512651</b>
<b>KAPPA:</b>	<b>0.9305</b>				

<b>2004-2005</b>	<b>(merged)</b>				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	34253	21051	26	0	55330
2	0	168367	0	0	168367
3	279	<b>6620</b>	281237	0	288136
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	<b>512651</b>
<b>KAPPA:</b>	<b>0.9023</b>				

<b>2005-2006</b>	<b>(merged)</b>				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total

1	34201	23019	28	0	57248
2	0	163699	0	0	163699
3	331	9320	281235	0	290886
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	512651
KAPPA:	0.8859				

2006-2007	(merged)				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	34024	30561	32	0	64617
2	0	151923	0	0	151923
3	508	13554	281231	0	295293
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	512651
KAPPA:	0.8451				

2007-2008	(merged)				
Confusion Matrix					
	Ground Truth				
	1	2	3	4	Total
1	33967	38477	47	0	72491
2	0	140107	0	0	140107
3	565	17454	281216	0	299235
4	0	0	0	818	818
Total	34532	196038	281263	818	512651
KAPPA:	0.8050				



Área em Percentual	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
1 - Agricultura	6,73%	7,29%	7,84%	9,50%	10,79%	11,17%	12,60%	14,14%
2 - Cerrado	38,24%	37,53%	36,67%	34,43%	32,84%	31,93%	29,63%	27,33%
3 - Pastagem	54,87%	55,03%	55,33%	55,91%	56,21%	56,74%	57,60%	58,37%
4 - Área Urbana	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%
KAPPA	0.9999	0.9868	0.9709	0.9305	0.9023	0.8859	0.8451	0.8050



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA  
CCMN - Bloco C - Cidade Universitária - Ilha do Fundão  
Rio de Janeiro - RJ CEP: 21941-916  
[www.ppgi.ufrj.br](http://www.ppgi.ufrj.br)