

**Metadados para Workflows Científicos no
Apoio ao Planejamento Ambiental**

Henrique Aparecido da Rocha

Dissertação de Mestrado

Metadados para Workflows Científicos no Apoio ao Planejamento Ambiental

Henrique Aparecido da Rocha¹

Fevereiro de 2003

Banca Examinadora:

- Profa. Dra. Claudia Bauzer Medeiros (Orientadora)
- Prof. Dr. Juliano Lopes de Oliveira
Instituto de Informática - Universidade Federal de Goiás
- Profa. Dra. Islene Calciolari Garcia
Instituto de Computação - Universidade Estadual de Campinas
- Profa. Dra. Eliane Martins (Suplente)
Instituto de Computação - Universidade Estadual de Campinas

¹ Suporte financeiro da CAPES e apoio parcial do SAI/PRONEX-MCT.

Substitua pela ficha catalográfica

Metadados para Workflows Científicos no Apoio ao Planejamento Ambiental

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação devidamente corrigida e defendida por Henrique Aparecido da Rocha e aprovada pela Banca Examinadora.

Campinas, 27 de Fevereiro de 2003.

Profa. Dra. Claudia Bauzer Medeiros
(Orientadora)

Dissertação apresentada ao Instituto de Computação, UNICAMP, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Substitua pela folha com a assinatura da banca

© Henrique Aparecido da Rocha, 2003.
Todos os direitos reservados.

À minha família, com carinho.

*“Sua tarefa é descobrir o seu trabalho e, então,
com todo o coração, dedicar-se a ele.”*

Sidarta Gautama

Resumo

As atividades de planejamento ambiental têm se destacado nos últimos anos, em virtude de fatores que incluem o crescimento populacional acelerado e a conseqüente necessidade de se explorar racionalmente os recursos naturais. Os problemas deste domínio são complexos e os objetivos podem ser muitas vezes conflitantes, exigindo a participação de vários tipos de especialistas oriundos de vários domínios de aplicação.

O sistema WOODSS (*WorkfLOw-based spatial Decision Support System*), desenvolvido no Instituto de Computação da UNICAMP, provê o suporte para atividades de planejamento ambiental, documentando-as através de *workflows* científicos, armazenados em um banco de dados. O foco desta dissertação é especificar meios eficientes de gerenciar estes *workflows*. A solução é baseada no uso de metadados específicos aos *workflows* científicos. Esta solução permite o acesso flexível aos planos ambientais, utilizando conjuntos de parâmetros distintos, deste modo auxiliando a comunicação entre os especialistas envolvidos, bem como manutenção, reutilização e evolução dos planos desenvolvidos.

As principais contribuições desta dissertação são: (1) levantamento dos requisitos de documentação de atividades de planejamento ambiental; (2) proposta de um padrão de metadados para *workflows* que documentam atividades de planejamento ambiental; (3) especificação de mecanismos para acoplar esse padrão ao WOODSS; e (4) implementação parcial da solução proposta, visando extensibilidade do WOODSS.

Abstract

Environmental planning activities have received great attention in the last years, in response to factors that include the acceleration in population growth and consequent necessity of rational exploration of natural resources. The problems in this domain are complex and the goals may often conflict, demanding cooperation of many kinds of experts from several application domains.

The WOODSS (WOrkflOw-based spatial Decision Support System) system, developed in UNICAMP's Institute of Computing, provides support to environmental planning activities, documenting them by scientific workflows, stored in a database. The focus of this dissertation is the specification of efficient means for managing these workflows. The solution is based on the use of metadata specific to scientific workflows. This solution allows flexible access to environmental plans, using distinct sets of parameters, thereby helping communication among the experts involved, as well as plan maintenance, reuse and evolution.

The main contributions of this dissertation are: (1) survey of requirements for documenting environmental planning activities; (2) proposal of a metadata standard for workflows which document environmental planning activities; (3) specification of mechanisms to couple this standard to WOODSS; and (4) partial implementation of the proposal, geared towards system extensibility.

Agradecimentos

Sobretudo, a Deus pela força que me impulsiona em todos os momentos e pela oportunidade de vibrar com mais esta conquista. Ele é a origem de toda a felicidade e sempre conduziu minha vida segundo seus desígnios.

À minha família pelo apoio irrestrito sempre e pelo sentimento de bem-querer tão intenso que existe entre nós. Pai, mãe e Alequim, vocês são os maiores responsáveis pelos ensinamentos práticos de afeto, honestidade e respeito que guardo comigo.

À minha noiva, Eliane Rocha, pelo seu amor incondicional, compreensão e sensibilidade que me fizeram perceber a grande companheira que tenho. Não é exagero dizer que esta dissertação não existiria sem o seu carinho.

À professora Claudia Bauzer Medeiros, minha orientadora, pelos seus ensinamentos, disponibilidade, constante incentivo, confiança e pela consideração com que sempre me distinguiu. Sem dúvida, um grande exemplo para mim.

Aos meus amigos de república, Rodrigo Pedatella, Silvania Resende e Thaísa Ferreira, pela generosidade e acolhimento com que me receberam, tornando a distância de casa menos difícil de suportar.

Aos colegas do grupo de banco de dados pelas críticas e sugestões, técnicas e não-técnicas, que enriqueceram sobremaneira o meu trabalho e a minha vida. Em especial, agradeço a Silvania Resende e Thiago Sicchieri pelo trabalho em equipe.

Ao professor Eliseu Weber, do Centro de Ecologia/UFRGS, pela gentileza em me fornecer informações e dados sobre exemplos de planejamento ambiental.

À CAPES e ao projeto SAI-PRONEX/MCT pelo apoio financeiro e ao Instituto de Computação pelo suporte e infra-estrutura necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

Sumário

Resumo	viii
Abstract	ix
Agradecimentos	x
1 Introdução	1
2 Conceitos Básicos e Revisão Bibliográfica	5
2.1 Planejamento Ambiental	5
2.1.1 Introdução	5
2.1.2 Visão Geral	6
2.1.3 Classes de Atividades no Planejamento Ambiental	7
2.1.4 Uso de Sistemas de Informação Geográfica	8
2.1.5 Metodologia de Desenvolvimento de Aplicações Ambientais	9
2.2 <i>Workflows</i>	12
2.2.1 Sistema Gerenciador de <i>Workflows</i>	13
2.3 <i>Workflows</i> Científicos	14
2.4 WOODSS	15
2.5 Metadados	16
2.6 Padrões de Metadados	19
2.6.1 <i>Dublin Core</i>	19
2.6.2 FGDC - <i>Content Standard for Digital Geospatial Metadata</i>	20
2.6.3 Hierarquia de Classes de Metadados de Gonçalves	23
2.7 Trabalhos Correlatos	24
2.8 Resumo	26
3 Adicionando Metadados aos <i>Workflows</i>	27
3.1 A Necessidade dos Metadados	27
3.2 Requisitos de Documentação de <i>Workflows</i>	28

3.3	Descrição do Padrão de Metadados Proposto	30
3.3.1	Metadados Descritivos	31
3.3.2	Metadados de Referência Espacial	31
3.3.3	Metadados de Referência Temporal	32
3.3.4	Metadados de Qualidade	32
3.3.5	Metadados Administrativos	32
3.3.6	Metadados Particulares	32
3.3.7	Metadados de Referência Indireta	36
3.4	Exemplo de utilização	37
3.4.1	Descrição do Estudo de Caso	37
3.4.2	Uso do Padrão de Metadados	40
3.5	Resumo	40
4	Aspectos de implementação do WOODSS	47
4.1	Introdução	47
4.2	Arquitetura	51
4.3	Diagrama de Classes	52
4.3.1	Visão Geral	52
4.3.2	Descrição dos Pacotes	54
4.4	Esquema de Representação de <i>Workflows</i>	55
4.5	Interligação com o Sistema de Informação Geográfica	57
4.6	Interface do Usuário	59
4.7	Resumo	61
5	Acoplado Metadados ao WOODSS	63
5.1	Levantamento de Requisitos Funcionais	63
5.2	Suporte para Metadados	65
5.2.1	Especificação de Classes	65
5.2.2	Persistência	67
5.3	Consultas de <i>Workflows</i>	69
5.3.1	Tipos de Consultas	70
5.3.2	Cenário de Busca	71
5.3.3	Execução de Consultas	72
5.4	Adaptações na Interface	73
5.5	Resumo	75
6	Conclusões e Extensões	79
6.1	Contribuições	79
6.2	Extensões	80

6.2.1	Extensões Conceituais	80
6.2.2	Extensões de Implementação	81
A	Especificação do Esquema de Banco de Dados do WOODSS	83
A.1	Diagrama Entidade-Relacionamento	83
A.2	Esquema do Banco de Dados Relacional	83
	Bibliografia	93

Lista de Tabelas

2.1	Procedimentos em planejamento ambiental que podem utilizar SIG. Retirado de [SCP97].	10
2.2	Atributos de metadados do padrão <i>Dublin Core</i> . Retirado de [WMD95]. . .	20
2.3	Principais atributos de metadados do padrão FGDC. Retirado de [fgd98]. .	21
2.4	Classes de metadados do modelo proposto por [Gon97].	23
3.1	Descrição da classe Metadados Descritivos.	31
3.2	Descrição da classe Metadados de Referência Espacial.	31
3.3	Descrição da classe Metadados de Referência Temporal.	32
3.4	Descrição da classe Metadados de Qualidade.	33
3.5	Descrição da classe Metadados Administrativos.	33
3.6	Descrição da classe Metadados Particulares	35
3.7	Descrição da classe Metadados de Referência Indireta.	36
3.8	Estudo de Caso: Metadados de um <i>workflow</i>	42
3.9	Estudo de Caso: Metadados de uma <i>atividade</i>	44
3.10	Estudo de Caso: Metadados de um <i>dado</i>	45

Lista de Figuras

2.1	Relacionamento entre as atividades de <i>tomada de decisão, planejamento técnico e projeto</i> no domínio ambiental. Retirado de [Mar97].	8
2.2	Metodologia de desenvolvimento de aplicações ambientais proposta por Pires [Pir97].	11
2.3	Arquitetura do WOODSS. Retirado de [Sef98].	17
2.4	Classificação de metadados em 3 níveis. Retirado de [CLS98].	18
3.1	<i>Workflow</i> de estratégia para avaliação de aptidão de terras	39
3.2	Mapa resultante do estudo de caso.	41
4.1	WOODSS: (a) Arquitetura original (b) Arquitetura proposta por Kaster	48
4.2	Diagrama de Classes proposto por Kaster.	49
4.3	Esquema de representação de <i>workflows</i> da versão anterior do WOODSS.	50
4.4	Arquitetura proposta para o WOODSS.	51
4.5	Diagrama de Classes proposto para o WOODSS.	53
4.6	Esquema de representação proposto para <i>workflows</i>	56
4.7	Criação de atividade de um <i>workflow</i> a partir do arquivo de <i>log</i> do Idrisi.	58
4.8	Geração do arquivo de <i>macro</i> a partir do <i>workflow</i>	59
4.9	Janela de edição dos parâmetros da função RECLASS.	60
5.1	Diagrama de Casos de Uso envolvendo a utilização de metadados.	64
5.2	Pacotes que devem receber novas classes para manipulação de metadados.	65
5.3	Relacionamento entre o padrão de metadados proposto e os componentes de um <i>workflow</i>	66
5.4	Extensão proposta ao diagrama de classes do WOODSS para suportar a manipulação de metadados.	68
5.5	Diagrama de Seqüência para um cenário de busca de <i>workflows</i>	71
5.6	Classes do pacote INTER que lidam com a edição e busca baseada em metadados no WOODSS.	74
5.7	Janela de edição de metadados de um <i>workflow</i>	76
5.8	Janela de consulta de <i>workflows</i> baseada em metadados.	77

A.1 Diagrama Entidade-Relacionamento do WOODSS.	84
---	----

Capítulo 1

Introdução

A necessidade de se utilizar racionalmente os recursos naturais tem destacado a importância da atividade de planejamento ambiental nos últimos anos. Inicialmente restrita a questões ecológicas em nível global, a atividade de planejamento ambiental cobre hoje diferentes aspectos e pode ser encontrada em múltiplas escalas, desde o nível de região urbana até o nível global.

Este tipo de atividade é caracterizado por vários fatores, tais como: **(1) multidisciplinaridade**, exigindo esforços conjuntos de vários tipos de especialistas; **(2) participação de equipes** trabalhando síncrona e assincronamente; **(3) singularidade dos problemas** a serem resolvidos (cada problema é quase que uma situação inédita).

O trabalho nesta área é fortemente baseado na utilização de dados geográficos e de software especial para gerenciar tais dados. Um plano ambiental, do ponto de vista de experimento científico, pode ser visto como uma seqüência de transformações de dados que se inicia com dados primitivos e finalmente produz dados com valor científico agregado [CMC⁺02a]. Em geral, o resultado final consiste em um conjunto de documentos que descrevem os problemas a enfrentar em uma determinada área (o **diagnóstico**) e estratégias para resolvê-los ou minimizá-los a curto, médio e longo prazo (o **plano**). A implementação do plano (o **acompanhamento**) é avaliada continuamente e este plano pode ser revisto e aperfeiçoado. Basicamente, o desafio em se construir um plano está em selecionar os dados de entrada que são relevantes e determinar uma seqüência adequada de transformações destes dados em função das metas que se deseja atingir. As soluções freqüentemente requerem tanto análises numéricas como também análises heurísticas, que por sua vez dependem dos julgamentos intuitivos dos planejadores [Chr99, WWJK93]. A experiência é valiosa e difícil de se adquirir [KSL02]. Portanto, é importante gerenciar experiências prévias de uma forma sistemática.

Entretanto, um dos grandes problemas deste processo reside exatamente na falta de documentação associada. Raramente existem documentos que descrevam como se chegou

ao diagnóstico e à solução. Desta forma, ocorrendo um problema semelhante em outra região com as mesmas características geográficas, é preciso recomeçar todo o processo. Além disso, fica difícil detectar erros de concepção ou de metodologia na elaboração do diagnóstico.

Outro aspecto associado a problemas de documentação é a falta de apoio de ferramentas que facilitem documentar o acompanhamento. De novo, este tipo de ferramenta facilitaria a tomada de decisões e a detecção de erros. Segundo Cavalcanti et. al. [CMC⁺02b], a descrição das estratégias e um sistema de catálogo combinados podem ser de grande ajuda aos especialistas.

Finalmente, além da importância nos processos de manutenção e evolução do plano, a documentação associada ao planejamento ambiental também dá suporte a comunicação entre os projetistas. Quanto mais complexo for o processo, maior o número de pessoas e tecnologias envolvidas, maiores os custos de manutenção e atualização e, conseqüentemente, maior a necessidade de documentação.

Um das soluções propostas para esta documentação é o uso de **workflows científicos** [SV96, WWVM96]. No IC-UNICAMP já foram desenvolvidos alguns trabalhos que visam apoiar este tipo de atividade, envolvendo um sistema denominado WOODSS (*WO*rkfl*O*w-based *s*patial *D*ecision *S*upport *S*ystem) [Sef98, SMRY99].

Atualmente, o WOODSS permite a especialistas em planejamento ambiental desenvolverem diferentes estratégias e documentá-las sob a forma de *workflows*. Um dos objetivos é permitir a especialistas no domínio ambiental analisar estas estratégias e reutilizá-las ou combiná-las para resolver novos problemas.

Um dos problemas, neste contexto, é como auxiliar o especialista a recuperar, dentre as estratégias documentadas, as mais adequadas à sua necessidade. Uma solução já abordada no IC-UNICAMP é aquela retratada na dissertação de Kaster [Kas01], que combina técnicas de Inteligência Artificial e Bancos de Dados para recuperar os *workflows* científicos de interesse de um especialista. Este enfoque, embora interessante, precisa ser combinado com outros tipos de mecanismos de recuperação.

O objetivo desta dissertação é prosseguir na mesma linha de trabalho, a saber, apoio a atividades de planejamento ambiental, através de ferramentas apropriadas de documentação destas atividades via *workflows* científicos. Em especial, esta dissertação concentra-se em determinar formas de documentar os *workflows* para auxiliar sua organização e recuperação. A solução abordada consiste em agregar informações auxiliares em adição àquelas já existentes nos *workflows* – os metadados.

Metadados, em um sentido mais amplo, podem ser definidos como dados sobre dados [EN99, SGG96]. Metadados descrevem informações como conteúdo, unidades de medida, informações de qualidade e propósitos pretendidos com o uso do conjunto de dados. Em geral, a utilização de metadados implica no uso de um padrão de metadados existente

ou na criação de um novo padrão. Um padrão define um conjunto de metadados a ser adotado para descrever características dos objetos de um domínio. O uso de padrões de metadados facilita a obtenção, compartilhamento, integração e transferência de dados.

O ponto de partida deste trabalho foi o levantamento dos requisitos de documentação de atividades de planejamento ambiental. Este levantamento baseou-se na metodologia de desenvolvimento de aplicações ambientais proposta por Pires [Pir97]. Em seguida, foram estudados os padrões de metadados existentes que poderiam ser utilizados na documentação de atividades de planejamento ambiental. Com base no levantamento de requisitos e estudo dos padrões de metadados, foi proposto um padrão de metadados que, associado aos *workflows* científicos, podem documentar de maneira adequada as atividades de planejamento ambiental.

A partir do padrão de metadados proposto, o intuito era incorporar a manipulação de metadados no WOODSS. Entretanto, a implementação original do WOODSS, norteada pela filosofia de protótipo, impôs sérias limitações de extensibilidade e a adoção de um esquema simplificado de representação do próprio conceito de *workflow*. Dessa forma, foi necessária a reengenharia e recodificação de boa parte do sistema. O processo de reestruturação do WOODSS foi conduzido em conjunto com [Res03], por constituir também a base de implementação de seu trabalho. O sistema passou a adotar um novo esquema de representação de *workflow*, consoante com o padrão definido pela WfMC (*Workflow Management Coalition*) [WfM]. Além disso, foi priorizada a modularidade, de forma que o WOODSS permita, de uma forma mais natural, a acomodação de expansões futuras.

Após a reformulação do WOODSS, foi especificada uma solução para incorporação de metadados ao sistema. Essa proposta descreve como se dará a manipulação de metadados no sistema e as consultas de *workflows* baseadas nestes metadados.

As principais contribuições desta dissertação são, portanto:

- Levantamento das características inerentes ao processo de planejamento ambiental e seus requisitos de documentação;
- Proposta de um padrão de metadados, baseado em padrões já existentes, para *workflows* científicos que documentam atividades de planejamento ambiental;
- Reengenharia e recodificação de parte do sistema WOODSS para torná-lo mais aberto, visando sua expansão futura;
- Proposta de solução para acoplamento do padrão de metadados ao sistema WOODSS.

O restante desta dissertação está organizado da seguinte maneira: o capítulo 2 apresenta os conceitos básicos necessários para o entendimento do texto, introduzindo os conceitos de planejamento ambiental, *workflows*, *workflows* científicos e metadados. Além

disso, ainda descreve a utilização de *workflows* científicos para documentar atividades de planejamento ambiental; o capítulo 3 descreve o padrão de metadados proposto para *workflows* que documentam atividades de planejamento ambiental. A associação deste padrão de metadados aos *workflows* dará suporte às consultas sobre estratégias desenvolvidas por especialistas; o capítulo 4 descreve os aspectos da implementação realizada no WOODSS para torná-lo mais aberto, visando expansão futura; o capítulo 5 apresenta a proposta de solução para a incorporação de metadados ao WOODSS, sobretudo as tarefas de edição de metadados e busca de *workflows* baseada nestes metadados; por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões e contribuições da dissertação, propondo algumas extensões futuras.

Capítulo 2

Conceitos Básicos e Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta os conceitos básicos para o entendimento do restante da dissertação: a seção 2.1 define planejamento ambiental, apresentando o contexto no qual se insere, suas características mais importantes e metodologia de desenvolvimento; a seção 2.2 apresenta o conceito de *workflow* e a seção 2.3 apresenta uma extensão do conceito de *workflow*, os *workflows* científicos; a seção 2.4 descreve o sistema WOODSS, que implementa a documentação de atividades de planejamento ambiental através de *workflows* científicos; a seção 2.5 define conceitos de metadados e a seção 2.6 descreve alguns padrões de metadados existentes; a seção 2.7 apresenta alguns trabalhos correlatos; por fim, a seção 2.8 apresenta o resumo do capítulo.

2.1 Planejamento Ambiental

2.1.1 Introdução

O impacto humano sobre o meio ambiente tem sido observado por séculos. Entretanto, na maior parte dos casos, estas observações não eram utilizadas sistematicamente para minimizar as perturbações ambientais causadas por decisões públicas e privadas. Estudos já apontavam vários casos de degradação inadvertida do meio ambiente causada pela ação do homem em todo o mundo [FM72].

Entretanto, a degradação do meio ambiente atingiu níveis preocupantes nos últimos tempos. Os problemas emergem em vista do crescimento demográfico, da demanda social e do crescimento econômico que ampliaram a expansão territorial e a intensidade da exploração dos recursos naturais e ambientais [Chr99]. Dessa forma, o planejamento sistemático para manter a qualidade ambiental foi intensificado em muitos países, incluindo

esforços para controlar a poluição da água e do ar. Novas leis e regulações administrativas foram estabelecidas, exigindo das agências governamentais a avaliação dos impactos ambientais de suas decisões [Ort84]. A crescente conscientização da humanidade com relação às questões ambientais motivou a organização, em 1972, da primeira Conferência Internacional sobre Meio Ambiente, sediada em Estocolmo. Mais recentemente houve a elaboração da Agenda 21, programa de ação criado por ocasião da Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada pela primeira vez no Rio de Janeiro em 1992. Através da Agenda 21 pretende-se atingir níveis sustentáveis nas relações humanas com seu ambiente. O Brasil ainda conta com a Política Nacional do Meio Ambiente, criada em 1981, visando *“preservar e recuperar a qualidade ambiental”* (Lei 6.938, art. 2º).

2.1.2 Visão Geral

O planejamento ambiental pode ser definido como o iniciar e executar atividades para dirigir e controlar a coleta, a transformação, a distribuição e a disposição dos recursos sob uma maneira capaz de sustentar as atividades humanas com um mínimo de distúrbios nos processos físicos, ecológicos e sociais [Bal81, Chr99]. A abordagem integradora combinando o crescimento econômico e a manutenção das potencialidades ambientais surge como amplo desafio aos pesquisadores e políticos. Uma tarefa relevante é estruturar uma concepção na qual os objetivos das propostas de conservação dos recursos naturais não sejam consideradas como necessariamente contraditórias às metas do desenvolvimento [Chr99].

O desafio consiste no conhecimento cada vez mais preciso dos sistemas econômicos, ecológicos e geográficos, em torno de suas estruturas e funcionamento, e na interação destes sistemas nas escalas global e regional. Para suportar decisões nesse ambiente complexo, o planejamento ambiental deve ser uma atividade multidimensional e multidisciplinar que incorpora fatores sociais, econômicos, políticos, geográficos e técnicos [WWJK93].

Dessa forma, é preciso agregar uma grande variedade de especialistas como biólogos, químicos, ecólogos, geólogos, geógrafos, hidrólogos, especialistas em clima, usualmente trabalhando em lugares distintos [CMC⁺00]. Além de especialistas eminentemente técnicos, o planejamento ambiental conta também com a participação de diretores de corporações, representantes governamentais e seus agentes, líderes de instituições, principalmente em fases que incluem tomadas de decisão.

Em geral, planejadores profissionais atuam na qualidade de consultores técnicos dos tomadores de decisão, fornecendo dados, definindo direções alternativas de ações, prevendo impactos e estruturando estratégias para a implantação de planos formais [Mar97].

A área de planejamento ambiental lida hoje com uma variedade de problemas de diversas complexidades. A grande maioria parece resultar de incoerências entre o uso da terra e o meio ambiente. Majoritariamente, segundo Marsh [Mar97], as incoerências são

de quatro origens: (1) **decisões pouco fundamentadas sobre o uso da terra**, por causa de ignorância ou concepções equivocadas sobre o meio ambiente, exemplificada pela pessoa que inconscientemente constrói uma casa em uma falha geológica ou ignora alertas acerca da necessidade de reforçar sua propriedade em áreas com propensão à ocorrência de furacões; (2) **mudanças ambientais** após um uso da terra ter sido estabelecido, como ilustrado pelo proprietário que vem a ser importunado por inundações ou poluição da água por causa de novos desenvolvimentos na parte superior do rio que cruza sua propriedade; (3) **mudanças sociais**, incluindo mudanças tecnológicas, após um uso da terra ter sido estabelecido e representado, por exemplo, por um habitante que vive em uma rua inicialmente projetada para carroças, mas agora utilizada por automóveis e caminhões, ocasionando ruídos, poluição do ar e problemas de segurança; e (4) **violações dos valores humanos** relacionados com maus tratos ao meio ambiente como a erradicação de espécies, a destruição de florestas tropicais e a alteração de paisagens historicamente valiosas.

2.1.3 Classes de Atividades no Planejamento Ambiental

Três grandes classes de atividades constituem o planejamento moderno: tomada de decisão, planejamento técnico e projeto [Mar97]. A primeira é a atividade relacionada com o próprio processo de **tomada de decisão**, que é usualmente realizado em conjunto com equipes como comissões de planejamento e quadros de corporações. Envolve a construção de métodos e meios para se chegar às decisões de planejamento, formulação de planos e então fornecer as direções necessárias para as tomadas de decisão.

A segunda classe de atividades de planejamento pode ser chamada de **planejamento técnico** e envolve vários processos e serviços que são utilizados para suportar tanto a tomada de decisão quanto as atividades de projeto. Inclui inventários ambientais como mapeamento de solo e vegetação, análises de engenharia como aptidão do solo para construção e avaliação dos impactos que usos propostos para o solo podem causar no meio ambiente. O planejamento técnico é usualmente realizado por uma variedade de especialistas, incluindo geógrafos, geólogos, ecólogos, hidrólogos, biólogos, arqueólogos, economistas e sociólogos, bem como planejadores profissionais oriundos do planejamento urbano, arquitetura e engenharia civil. Nem sempre há separação entre a tomada de decisão e o planejamento técnico e, em muitos projetos, é comum serem tratadas como uma única atividade.

Seguindo o processo de tomada de decisão e os estudos de suporte técnico, resta a área de **projeto**. O projeto consiste em concretizar, segundo alguma notação específica, a configuração dos usos, características e facilidades que estão para ser construídas, mudadas ou preservadas em virtude das decisões dos tomadores de decisão. O projeto pode requerer estudos técnicos adicionais, como testes de solo, refinamento de mapas ou mesmo análises

de laboratório.

Contudo, os processos de planejamento e o relacionamento entre as três áreas de atividades profissionais não devem ser considerados como uma seqüência linear – embora seja praticado desta maneira na maior parte dos casos – mas mais como um circuito inter-relacionado como mostrado na figura 2.1. Geralmente, resolver um problema de planejamento envolve várias iterações do circuito, onde tarefas de verificação e balanço do processo permeiam o relacionamento entre tomadores de decisão, planejadores técnicos e projetistas.

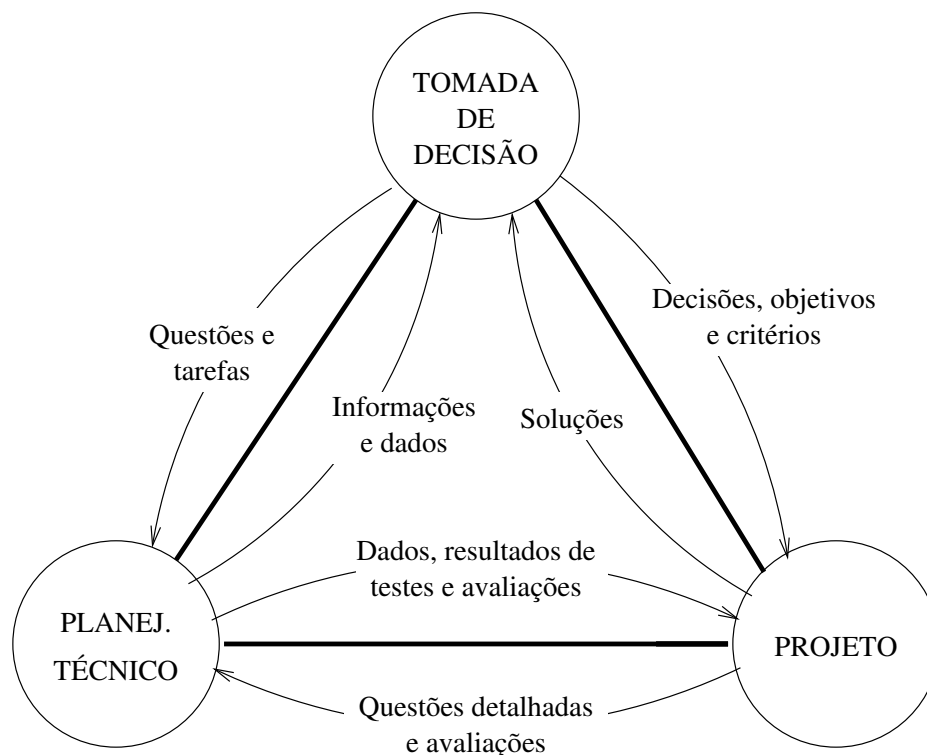


Figura 2.1: Relacionamento entre as atividades de *tomada de decisão*, *planejamento técnico* e *projeto* no domínio ambiental. Retirado de [Mar97].

2.1.4 Uso de Sistemas de Informação Geográfica

Uma das questões mais importantes a ser considerada em planejamento ambiental é que o processo de tomada de decisão está basicamente fundamentado na coleta e análise de informações sobre o ambiente em estudo, em que os dados envolvidos normalmente mostram alta complexidade [SCP97]. A maioria desses dados traz consigo informações

acerca de sua localização na superfície terrestre, caracterizando o que são chamados de **dados geo-referenciados** [CCH+96]. Conjuntos amplos de dados necessitam ser comparados, sobrepostos e avaliados. Dessa forma, o uso de sistemas computacionais capazes de gerenciar bancos de dados geo-referenciados passa a ser imprescindível e os SIG (Sistemas de Informação Geográfica) são cada vez mais utilizados para dar suporte à formulação de diagnósticos, prognósticos, avaliação de alternativas de ação e manejo ambiental [SCP97, HFP88].

Sistemas de Informação Geográfica - SIG - são sistemas automatizados utilizados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la [CCH+96]. Sua utilização pode reduzir substancialmente o tempo e o custo de elaboração de um plano que envolve mapeamento, como exemplificam Lees et al. [LR91]. A tabela 2.1 lista algumas funções atribuídas aos SIG que podem fazer parte ou serem resultados de planejamento e gerenciamento ambientais [SCP97].

2.1.5 Metodologia de Desenvolvimento de Aplicações Ambientais

Existe uma diversidade de metodologias utilizadas no desenvolvimento de aplicações ambientais. Muitas delas são heurísticas limitadas pelo domínio da aplicação, pelas fontes de dados disponíveis e pela abordagem do problema do usuário, influenciando o modelo de processo utilizado, sem contar com as restrições impostas pelo próprio SIG subjacente [OPM97, Pir97].

Pires [Pir97] apresenta uma metodologia que representa, com alto nível de abstração, os passos executados por uma grande variedade de usuários ao desenvolver suas aplicações. Baseia-se nas fases tradicionais do ciclo de vida do software (análise, projeto, implementação e manutenção) como forma de aproximar o usuário desenvolvedor dos conceitos da Engenharia de Software. Essa metodologia, retratada na figura 2.2, é resultado de um estudo de dois anos com diferentes usuários de SIG na área de planejamento ambiental.

A metodologia proposta está dividida em quatro etapas básicas: *planejamento, inventário, desenvolvimento e avaliação*.

1. Planejamento

O planejamento compreende as fases de planejamento propriamente dita e análise de requisitos do ciclo de vida do software. Envolve três atividades: definição dos **objetivos**, definição da **área de estudo** e definição da **estratégia metodológica**.

Procedimento em planejamentos	Exemplos de funções atribuídas ao SIG
Avaliar os elementos que compõem o meio	<ul style="list-style-type: none"> - apresentar dados temáticos de forma espacial; - representar e gerar classificações de florestas; - expressar, espacialmente, processos físicos, biológicos e populacionais.
Analisar fatos dentro de uma abrangência temporal	<ul style="list-style-type: none"> - representar a história da dinâmica do uso da terra; - avaliar a dinâmica histórica regional; - avaliar causas e conseqüências históricas de desmatamentos; - representar a evolução ou expansão agrícola; - mapear as perdas territoriais de tipos de produção.
Relacionar os fatos	<ul style="list-style-type: none"> - cruzar informações politemáticas com produção de mapas-síntese; - avaliar a dinâmica do uso da terra em relação à declividade e altitude; - interpretar áreas de plantio em relação ao clima, solo e declividade.
Elaborar prognósticos	<ul style="list-style-type: none"> - determinar possíveis causas de impacto e prever futuras conseqüências ambientais; - medir e inferir sobre a qualidade dos recursos naturais; - definir cenários futuros.
Definir zonas ou territórios	<ul style="list-style-type: none"> - zonestar territórios de acordo com regras pré-estabelecidas; - identificar áreas de proteção, de refúgios ou habitat exclusivos; - planejar percursos adequados dentro de uma região; - selecionar áreas de pastagem.
Elaborar alternativas de ação	<ul style="list-style-type: none"> - apresentar alternativas mitigadoras de resolução de conflitos; - elaborar planos de reflorestamento; - monitorar o ambiente, como controle do fogo ou desertificação.

Tabela 2.1: Procedimentos em planejamento ambiental que podem utilizar SIG. Retirado de [SCP97].

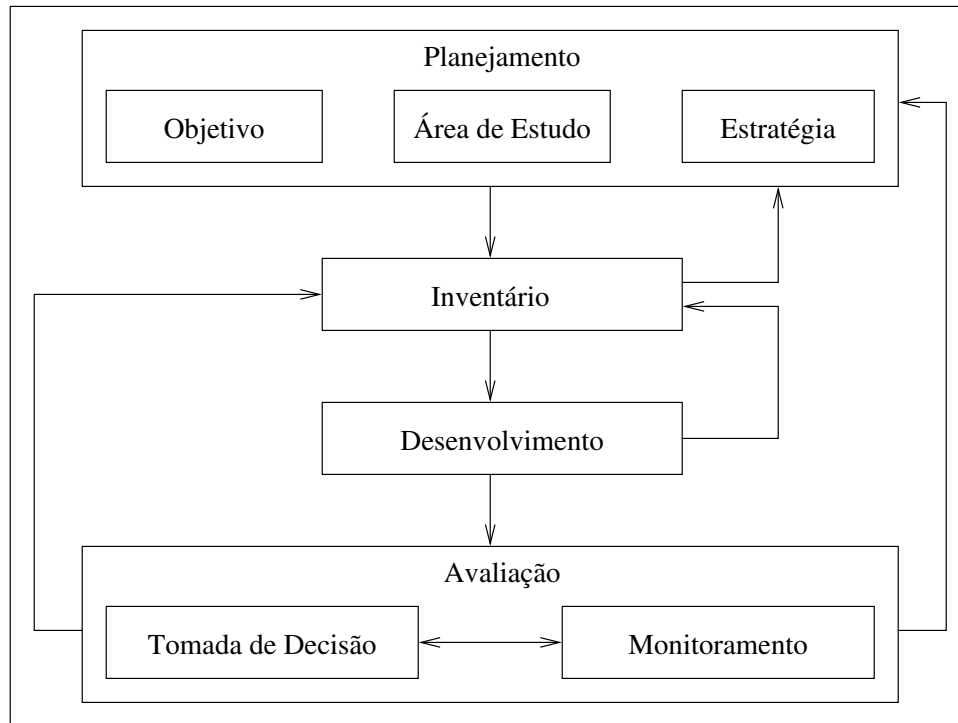


Figura 2.2: Metodologia de desenvolvimento de aplicações ambientais proposta por Pires [Pir97].

A estratégia metodológica consiste no conjunto de métodos que devem ser utilizados de forma seqüencial ou concorrente, escolhidos de acordo com os objetivos da aplicação e características geográficas da área de estudo. Considere, por exemplo, a aplicação de *mapeamento de riscos de incêndio* em uma determinada área. Algumas estratégias metodológicas podem ser utilizadas nessa situação, como: correlações de informações como o número de habitantes, índices econômicos da população e estatísticas de ocorrências de incêndios; e combinação de vários dados demográficos e climáticos com classificação de regiões através de regressões múltiplas.

2. Inventário

O inventário se incumbe da definição e coleta de dados para a aplicação, correspondendo em termos de Engenharia de Software a uma análise mais detalhada dos dados envolvidos na aplicação. Consiste em três atividades básicas: (1) **seleção** das variáveis ou fatores a serem analisados; (2) **definição** da escala, precisão e nível de detalhe; e (3) **coleta** de dados através da utilização de, por exemplo, mapas topográficos, interpretação de

fotografias aéreas, trabalhos de campo ou tele-deteção (satélites ou aviões).

3. Desenvolvimento

O desenvolvimento corresponde às fases de projeto, codificação e testes da Engenharia de Software. Dependendo do que seja a aplicação, o processamento pode corresponder à execução de um conjunto de consultas (e obtenção de mapas) até a construção de código complexo. O processo de desenvolvimento é direcionado para as seguintes etapas: (1) **definição e geração** dos dados; (2) **especificação** do modelo de processo em função da estratégia metodológica escolhida; (3) **implementação** do modelo de processo em um SIG; e (4) **validação**, em geral, a partir da análise visual dos resultados por especialistas do domínio.

4. Avaliação

A avaliação corresponde à fase de manutenção da Engenharia de Software e inclui a análise, pelo especialista, dos resultados do desenvolvimento. As etapas da fase de avaliação são: (1) **tomada de decisão e especificação de políticas**, onde são escolhidas as alternativas que farão parte da solução e serão traduzidas em sugestões e diretivas a serem tomadas; e (2) **monitoramento**, onde os especialistas acompanham a implementação das diretivas e os resultados são comparados com os previstos pela aplicação.

2.2 Workflows

Um *workflow* corresponde à execução coordenada de múltiplas tarefas realizadas por diferentes agentes [RS95, Hol95, AAAM97]. Uma **tarefa** define algum trabalho (atividade) a ser realizado, enquanto que um **agente** corresponde ao executor de uma tarefa, que pode ser uma pessoa (execução manual), um componente de software (execução automática) ou ambos (execução híbrida).

O conceito de *workflow* foi criado no ambiente empresarial para automatizar, gerenciar e otimizar os processos que envolvam colaboração e coordenação inter-pessoais. A razão principal para a popularidade dessa tecnologia é o suporte para as tendências de gerenciamento, incluindo reinvenção e revitalização de corporações através de adequação de custos e reengenharia de processos [XR02]. A reengenharia de processos tem possibilitado que companhias operem mais rápido, mais efetivamente e ainda, utilizem a tecnologia da informação de maneira mais produtiva [HS99]. Processos são as séries de atividades cotidianas nas quais pessoas participam e podem envolver diversas tarefas como o planejamento de um projeto, obter aprovação para um empréstimo, rastreamento de consumidores ou até a produção de um software. Tais tarefas são complexas, sobretudo com a adição de

despesas de comunicação entre vários indivíduos, o que dificulta o gerenciamento destes processos. As informações necessárias para realizar uma atividade particular podem estar dispersas por toda a organização, dificultando sua coleta e uso posterior. Dessa forma, um participante do processo pode não saber prontamente quais outros participantes dependem dos documentos e informações que está produzindo ou qual o próximo passo na execução da tarefa.

O uso de *workflows* nessas situações pode trazer benefícios com relação ao acesso de informações, entendimento de problemas e eficiência. *Workflows* aliados à reengenharia de processos fornecem o suporte adequado para transferir, acessar e manipular informações. Colocar a informação no lugar certo e no tempo certo é crucial para o trabalho ininterrupto que inclui cooperação e colaboração. Além disso, modelagem e visualização de processos são também importantes para melhorar o trabalho diário por permitir que tarefas complexas, suscetíveis a erros ou tediosas sejam entendidas e automatizadas. Um exemplo do uso de *workflows* que tem se destacado recentemente é o de suporte a *Cadeias Produtivas* [Cra01]. Neste tipo de aplicação, as visões global e por estágio da cadeia são fundamentais para o gerenciamento efetivo do processo. *Workflows* têm sido utilizados na documentação destes processos, dando suporte às atividades de previsão e planejamento.

2.2.1 Sistema Gerenciador de *Workflows*

O objetivo de um **Sistema Gerenciador de *Workflows*** (*Workflow Management System - WFMS*) é fornecer facilidades para especificar e executar *workflows* [Hol95]. Tradicionalmente, especificação e execução são fases claramente distintas.

Na primeira, a fase de modelagem, o objetivo é criar uma especificação de *workflow*, que consiste na descrição de atividades, suas dependências e agentes habilitados para executá-las. Cabe ressaltar que uma dependência entre duas atividades pode ser de dados (ou valores), temporal ou de execução [RS95]. A **dependência de dados** ocorre, por exemplo, quando uma atividade necessita dos dados gerados por outra atividade para iniciar sua execução. Uma **dependência temporal** ocorre no caso em que uma atividade deve ser executada após um tempo pré-determinado a partir do término da execução de outra atividade. Por último, um exemplo de **dependência de execução** é o caso de uma atividade que deve ser interrompida se uma outra atividade terminar.

A fase de execução consiste na criação e execução de instâncias de *workflows* segundo o indicado na especificação. Nesta fase pode ocorrer o que é chamado de **contingência** ou **exceção** (evento não previsto na especificação). Situações que levam a este estado podem ser: informações errôneas ou incompletas ao executar uma tarefa, acontecimentos externos, falhas ou ausência de agentes, dentre outras.

É possível notar que a divisão tradicional estrita entre modelagem e execução é inviável

na prática, devido aos diferentes tipos de processos, aos casos especiais e à evolução da realidade externa. Barthelmess e Wainer [BW95] mencionam a importância de permitir a resolução de problemas em situações não rotineiras, para as quais não existe um processo bem definido. Nestas situações, a especificação constitui a etapa mais importante do trabalho, feita normalmente à medida que o caso evolui, e não de forma antecipada, tal como pressupõem os sistemas de *workflow* tradicionais. Esta observação é especialmente aplicável ao domínio de geoprocessamento, dado que usuários muitas vezes não conhecem a seqüência completa de passos que os levarão a uma solução e por isso decidem seu próximo passo após a análise dos resultados obtidos em passos prévios.

2.3 Workflows Científicos

Embora o conceito de *workflow* tenha surgido no contexto empresarial, atualmente existem vários tipos de *workflows* que são aplicados a outros domínios [MVW96b, AH97, MVW96a]. Dentre eles, podemos destacar os *workflows* científicos.

Workflows científicos são extensões de sistemas de *workflow* tradicionais, especialmente definidos para documentar procedimentos e experimentos científicos [MVW95, SV96, WWVM96]. Domínios científicos não tratam de seqüências lineares de atividades nem tampouco de procedimentos que possam ser descritos por sistemas de *workflow* padrão. A documentação de trabalhos científicos requer um tratamento especial, pois este tipo de trabalho é caracterizado por um grande grau de flexibilidade e incerteza, além da ocorrência de exceções.

Workflows científicos estendem *workflows* tradicionais nos seguintes aspectos:

- **Tratamento de incompletude:** *workflows* científicos podem ser executados até mesmo quando incompletos, sendo construídos progressivamente durante sua execução. *Workflows* convencionais, ao contrário, precisam ser totalmente definidos antes de serem executados;
- **Reutilização parcial:** a reutilização parcial de *workflows* nos WFMS tradicionais consiste em ler o arquivo da especificação do *workflow* para sua execução. Já no caso de *workflows* científicos, este termo é mais abrangente, pois considera a reutilização de *workflows* parciais para especificar outros *workflows*;
- **Modificação dinâmica:** *workflows* científicos permitem alterar dinamicamente sua especificação inicial, retrocedendo a uma atividade anterior, restabelecendo seu contexto e realizando uma reexecução, possivelmente tomando um novo curso de ação;

- **Execução de processos inválidos:** no domínio científico, os processos decisórios são baseados no mecanismo de tentativa e erro. *Workflows* científicos são flexíveis o suficiente para suportar este tipo de abordagem;
- **Especificação a partir da instância:** *workflows* convencionais são especificados para serem executados freqüentemente, onde cada execução é uma instância. *Workflows* científicos, por outro lado, podem ser executados uma única vez. Como um *workflow* científico pode ser definido dinamicamente, sua especificação é realizada a partir da instância, ao invés da especificação definir a instância, como em *workflows* tradicionais.

Comumente, em planejamento ambiental, os passos são realizados de maneira *ad hoc*, com documentação insuficiente e sem o suporte para a troca de experiências entre especialistas [SMRY99]. Assim, muito tempo é gasto na reinvenção de soluções para problemas, sem levar em conta experiência prévia.

Segundo Seffino [Sef98], o processo decisório ambiental pode ser naturalmente caracterizado como um experimento científico, onde o objetivo é produzir um mapa, representando um cenário alternativo, que indicará como resolver o problema. Este mapa é gerado a partir da execução de uma seqüência parcialmente ordenada de atividades, seguida de ajustes sucessivos, utilizando funções de um SIG. Assim, o processo de geração de mapas, e conseqüentemente o processo decisório associado, pode ser apropriadamente modelado (e documentado) como um *workflow* científico.

2.4 WOODSS

O WOODSS (*WorkflOw-based spatial Decision Support System*) [Sef98, SMRY99] consiste em um sistema baseado em *workflows* científicos cujo objetivo é documentar os processos decisórios dos usuários em um contexto espacial e auxiliá-los na resolução de problemas similares. O WOODSS interage com o SIG Idrisi [Idr], monitorando as interações dos usuários com esse sistema e documentando-as através de *workflows* científicos, armazenados em um banco de dados denominado **Banco de Workflows**. Um *workflow* criado pelo WOODSS descreve uma seqüência de passos utilizada para análise espacial em um SIG e o fluxo de dados entre estes passos. Os *workflows* científicos usados no WOODSS têm os seguintes papéis:

- Documentação do processo decisório, com isto auxiliando o planejamento participatório e futuras tomadas de decisão;
- Especificação de alto nível de modelos de simulação de processos ambientais;

- Especificação parametrizada executável de processos de decisão, que pode ser reutilizada e adaptada para novas situações similares.

Além de criar *workflows* automaticamente a partir da captura de interações do usuário com o SIG, o WOODSS oferece suporte para que o usuário também os crie. O usuário pode criar um *workflow* completo ou recuperar documentos armazenados no Banco, modificá-los e gerar novas soluções. *Workflows* criados no WOODSS podem ainda ser executados diretamente no SIG Idrisi, evitando que o usuário tenha que fazer a re-entrada manual dos dados para a implementação do plano.

A arquitetura do WOODSS é formada por cinco módulos, esquematizados na figura 2.3: **Interface**, **Monitor**, **Gestor de Workflows**, **Atualizações** e **Consultas**. O módulo **Monitor** tem os papéis de capturar as atividades realizadas externamente pelo usuário no SIG e executar as atividades no SIG previstas em um *workflow*. O **Gestor de Workflows** traduz os comandos de gerenciamento do Banco de *Workflows*. Os módulos de **Atualizações** e **Consultas** são responsáveis, respectivamente, pela inserção de informações no Banco de *Workflows* e navegação do usuário pelos *workflows* armazenados. Por último, a **Interface** traduz os comandos do usuário para os módulos adequados e faz a apresentação dos resultados destes comandos. O capítulo 4 apresenta mais detalhes sobre o WOODSS.

2.5 Metadados

Metadados, em seu sentido mais geral, são definidos como dados ou informações sobre dados [EN99, SGG96]. Para bancos de dados estruturados, o exemplo mais comum de metadados é o esquema do banco de dados. Uma definição mais precisa, entretanto, é difícil de se estabelecer. Segundo Kashyap e Sheth [KS98], os metadados são um sumário do conteúdo da informação dos dados descritos de uma maneira sucinta. A ISO [iso97] apresenta uma definição relacionada, em que metadados são dados sobre o conteúdo, qualidade, condição e outras características dos dados. No contexto destas definições, o papel de documentação dos metadados é fundamental. Estas informações devem dar elementos de decisão para um usuário com o objetivo de escolher o conjunto de dados mais apropriado [CLS98].

Entretanto, o papel dos metadados não está restrito a informações de documentação. Para o FGDC [fgd98], metadados também devem permitir: (1) a representação dos processos de aquisição e transformação dos dados, através, por exemplo, da descrição das operações realizadas nesses processos; e (2) a descrição da estrutura e do próprio papel dos metadados, objetivando permitir sua interpretação e tratamento pelo usuário, especialmente durante passos de transferência.

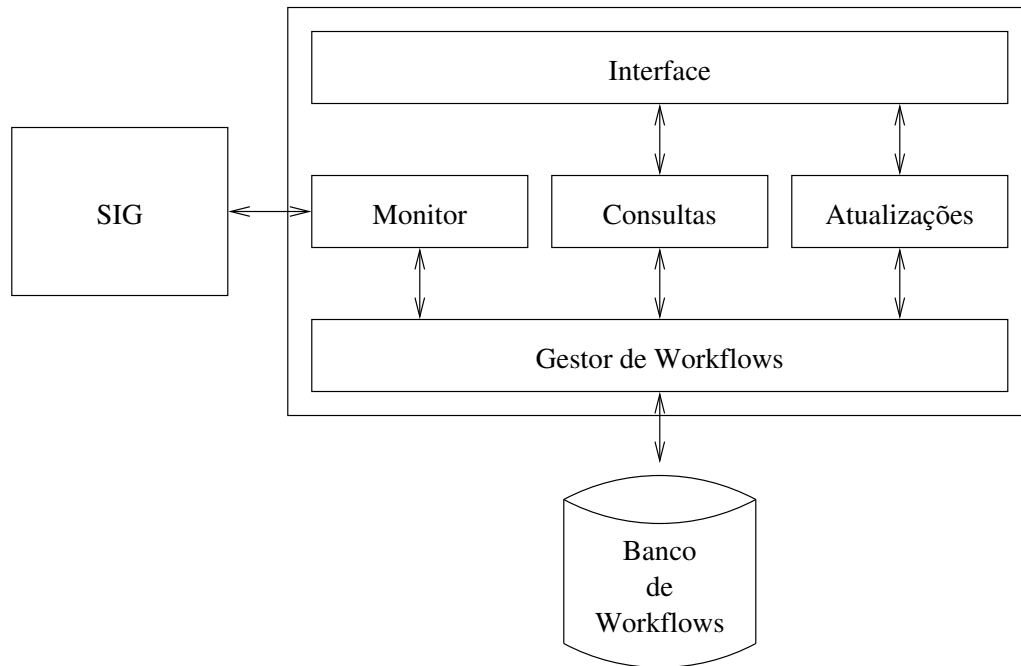


Figura 2.3: Arquitetura do WOODSS. Retirado de [Sef98].

Com relação a essa última característica, os metadados têm um papel importante no suporte à interoperabilidade, especialmente para informações geográficas, extensivamente utilizadas em planejamento ambiental. Segundo Coulondre et al. [CLS98], os metadados devem estar organizados de acordo com uma arquitetura de três níveis, no contexto do processo de intercâmbio de dados. Estes três níveis permitem a descrição do domínio em estudo (1º nível), das características do dado intercambiado (2º nível) e da informação geográfica (3º nível). A figura 2.4 ilustra essa arquitetura, cujos níveis são detalhados a seguir:.

- **1º nível** - Os metadados descrevem os elementos necessários para que um modelo seja utilizável. Estes elementos formam os conceitos de um domínio particular estudado: a **ontologia**. Uma ontologia define termos e semânticas necessários à interpretação destes conceitos (entidades e relações), de acordo com as noções usualmente aceitas dentro de uma comunidade [Dev02];
- **2º nível** - Neste nível, o domínio está pré-definido. Assim, uma ontologia já foi escolhida. Dois tipos de metadados podem ser considerados:
 - Metadados associados com o processo de produção do dado geográfico (cha-

mado de *Protocolo* na figura 2.4). Estes metadados descrevem as especificações de produção escolhidas pelo produtor dos dados;

- Metadados relacionados à organização dos dados dentro da produção corrente (chamado *Esquema* na figura 2.4). Para um conjunto de dados, o esquema define a estrutura das entidades geográficas, seus atributos, e os relacionamentos semânticos entre eles.
- **3º nível** - Os metadados representam informações sobre os dados contidos nos arquivos, nos quais são percebidos em diferentes níveis de granularidade: global, parcial e individual. Os três níveis são definidos na figura 2.4 por *Nível Conjunto*, *Nível Categoria* e *Nível Objeto*.

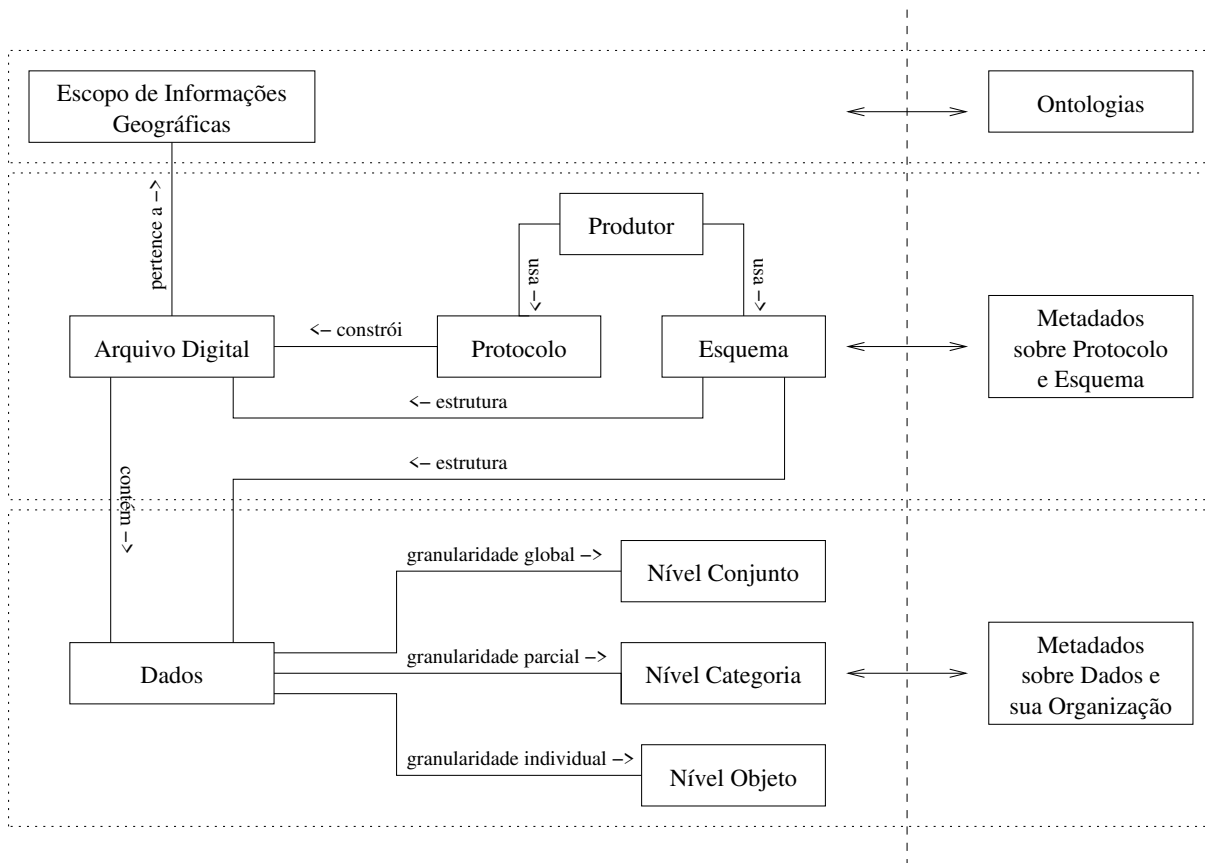


Figura 2.4: Classificação de metadados em 3 níveis. Retirado de [CLS98].

2.6 Padrões de Metadados

Embora os metadados sejam parte da solução para permitir interoperabilidade, eles criam um grande problema: a incompatibilidade entre eles [CMC⁺00]. Padrões são um meio importante de obter esquemas comuns de representação e interoperabilidade de sistemas, assumindo o papel central na exploração dos metadados [BKS98]. O termo padrão de metadados, no contexto desta dissertação, denota um conjunto de atributos definidos para documentar dados de um domínio específico. Este termo mantém o significado do original em inglês (*metadata standard*) apenas por questão de compatibilidade de terminologias.

O sucesso de um padrão está diretamente associado à sua habilidade de ser flexível e adaptável aos requisitos do usuário. De fato, é muito difícil para um único padrão fornecer todos os requisitos de várias comunidades [MCB98]. Dessa forma, as iniciativas têm se voltado à especificação de conjuntos de atributos para a descrição de objetos de interesse de um determinado domínio, definindo padrões a serem utilizados para a representação destes atributos.

O restante desta seção apresenta alguns padrões de metadados proeminentes e que servirão como base à definição do padrão de metadados para *workflows* que documentam atividades de planejamento ambiental.

2.6.1 *Dublin Core*

O padrão de metadados *Dublin Core* é o resultado do primeiro workshop em metadados, realizado em 1995 pelo OCLC/NCSA (*Online Computer Library Center/National Center for Supercomputer Applications*). O conjunto de metadados proposto tem por objetivo prover um conjunto minimal de atributos que facilitem a descrição, descoberta e a indexação automática de documentos eletrônicos em rede [WMD95]. A idéia era definir um conjunto simples de elementos de dados a fim de que autores e publicadores de documentos na Internet pudessem criar seus próprios registros de metadados de uma maneira distribuída e sem a necessidade de treinamento. A tabela 2.2 apresenta os atributos do *Dublin Core*. A semântica destes atributos pode ser modificada de duas formas: (1) pelo uso de qualificadores recebidos de outros esquemas de metadados, os quais permitem designar significados mais detalhados e precisos para os atributos; ou (2) por especializações e extensões *ad hoc* que refinam os atributos.

O *Dublin Core* se caracteriza por predominância de catalogamento descritivo [LLJ96]. Apesar da importância deste tipo de metadados, ele é apenas um dos conjuntos de metadados que podem ser associados a objetos. Deve ser encarado como um conjunto mínimo de atributos, onde muitos produtores de metadados podem desejar aumentar o conjunto com dados mais especializados.

Atributo	Descrição
Assunto	Tópico endereçado pelo conjunto de dados
Descrição	Descrição textual do conteúdo do conjunto de dados
Autor	Pessoa/organização responsável pela criação do conteúdo do conjunto de dados
Publicador	Agente/agência responsável pela disponibilização do conjunto de dados
Título	Nome dado, usualmente pelo autor ou publicador, ao conjunto de dados
Outro agente	Pessoa, não especificada no campo autor, mas que forneceu contribuições significativas para o uso do conjunto de dados
Data	Data da publicação do conjunto de dados
Tipo	Categoria ou gênero do conjunto de dados, por exemplo, relatório técnico, dicionário
Formato	Representação física do conjunto de dados utilizada para indicar o software ou hardware necessários para utilizado o conjunto de dados
Identificador	<i>String</i> ou número usado para identificar univocamente o conjunto de dados
Relação	Relacionamento do conjunto de dados com outros conjuntos
Origem	Objetos, digitais ou não, do qual este conjunto de dados é derivado
Linguagem	Linguagem utilizada para descrever o conteúdo do conjunto de dados
Cobertura	Características de duração temporal e/ou localização espacial do conjunto de dados Cobertura temporal: data em que o dado foi disponibilizado Cobertura espacial: região na qual o conjunto de dados foi observado
Direitos	<i>Link</i> para o gerenciador de direitos autorais ou para serviços que forneçam informações sobre os termos de acesso ao conjunto de dados

Tabela 2.2: Atributos de metadados do padrão *Dublin Core*. Retirado de [WMD95].

2.6.2 FGDC - *Content Standard for Digital Geospatial Metadata*

O padrão do *Federal Geographic Data Committee* (FGDC), criado em 1994, é denominado *Content Standards for Digital Geospatial Metadata* [fgd98]. Apesar do nome oficial do padrão, ele é comumente referenciado como padrão FGDC, nome que será utilizado no restante desta dissertação.

O padrão especifica o conteúdo da informação para um conjunto de dados geoespaciais, estabelecendo um conjunto comum de terminologias e definições para conceitos relacionados aos metadados. Em linhas gerais, o padrão define as informações requeridas por um provável usuário para que ele possa determinar: (1) a *disponibilidade*, (2) a *adequabilidade* para um uso pretendido, (3) as *formas de acesso* e (4) *transferir* o conjunto de dados geoespaciais com sucesso.

O padrão FGDC é um formato complexo com cerca de 300 componentes. O padrão estrutura os metadados espaciais em sete grupos de características. Somente o primeiro

(informações de identificação) e o último grupo (informações de referência dos metadados) são obrigatórios, os demais são opcionais. A tabela 2.3 apresenta os principais atributos que compõem o padrão.

Os grupos que compõem o padrão FGDC são os seguintes:

- **Identificação** - Informações básicas sobre um conjunto de dados. Consiste, por exemplo, em identificar o produtor, palavras-chave, etc;
- **Qualidade dos dados** - Informações gerais sobre a qualidade do conjunto de dados. Além da avaliação da acurácia e consistência dos dados, inclui metadados sobre a fonte de dados (*linhagem*) e sobre completude;
- **Organização dos dados espaciais** - Informações que especificam quais mecanismos foram usados para representar as informações espaciais no conjunto de dados;
- **Referência espacial** - Descreve os sistemas de coordenadas e projeção utilizados;
- **Entidades e Atributos** - Permite ao usuário descrever o conteúdo da informação do conjunto de dados utilizando o modelo entidade-relacionamento;
- **Distribuição** - Estas informações estão relacionadas com a distribuição dos dados. Inclui identificação do produtor, termos de venda, etc;
- **Referência de metadados** - Serve para armazenar o que é chamado de *meta-metadados*. Inclui informações sobre a última atualização dos metadados, a última e a próxima revisão, a parte responsável, bem como restrições de acesso e segurança.

O padrão FGDC é o mais difundido no domínio ambiental. Em síntese, representa um esforço para estabelecer uma maneira uniforme de documentar conjuntos de dados geoespaciais. Embora primariamente focado na descrição de dados geográficos, ele também provê uma base sólida para um sistema de metadados ambientais [GV98].

Tabela 2.3: Principais atributos de metadados do padrão FGDC. Retirado de [fgd98].

Grupo	Atributo	Descrição
Identificação	Descrição	Descrição textual do conjunto de dados
	Período	Período em que o conjunto de dados foi descrito
	Estado	Estado da manutenção do conjunto de dados
	Referência espacial	Domínio da área geográfica em que o conjunto de dados foi observado

continua na próxima página

Tabela 2.3: Principais atributos de metadados do padrão FGDC. Retirado de [fgd98] (continuação).

Grupo	Atributo	Descrição
	Palavras-chave	Palavras ou frases que representam o conteúdo do conjunto de dados
	Restrições de acesso	Restrições e pré-requisitos para o acesso ao conjunto de dados
	Restrições de uso	Restrições e pré-requisitos para o uso do conjunto de dados
	Pessoa ou organização	Informações adicionais sobre o conjunto de dados
	Gráfico	Ilustração do conjunto de dados
	Segurança	Restrições impostas ao conjunto de dados devido as necessidades de segurança e privacidade
	Aspectos técnicos	Aspectos técnicos do conjunto de dados, por exemplo, software especial requerido e sistema operacional
Qualidade	Atributos de precisão	Precisão dos atributos do conjunto de dados
	Precisão posicional	Precisão das posições especificadas para o conjunto de dados
	Consistência lógica	Explicação sobre a consistência dos relacionamentos no conjunto de dados
	Compleitude	Quantidade de dados coletados se comparados a quantidade total de dados
	Linhagem	Eventos, parâmetros, fonte de dados, e processo utilizado para a construção do conjunto de dados
	Cobertura de nuvens	Porcentagem de cobertura de nuvens no momento da observação do conjunto de dados
Organização dos dados espaciais	Referência espacial indireta	Fatores geográficos representando que localizações são referenciadas pelo conjunto de dados
	Método de referência espacial direta	Sistema de objeto utilizado para representar o espaço no conjunto de dados
Referência espacial	Sistema de coordenada horizontal	Tipo de sistema de coordenadas utilizado
	Sistema de coordenada vertical	Definição do sistema de altitude utilizado
Atributos e entidades	Definição	Informações sobre o conteúdo do conjunto de dados (entidades, atributos e domínios)

continua na próxima página

Tabela 2.3: Principais atributos de metadados do padrão FGDC. Retirado de [fgd98] (continuação).

Grupo	Atributo	Descrição
Informação de distribuição	Distribuidor	Pessoa/organização da qual o conjunto de dados pode ser obtido
	Descrição do recurso	Identificador único através do qual o conjunto de dados pode ser obtido
	Responsabilidade de distribuição	Termo de responsabilidade assumido pelo distribuidor
	Pré-requisitos técnicos	Conhecimento técnico necessário para o uso do conjunto de dados

2.6.3 Hierarquia de Classes de Metadados de Gonçalves

Gonçalves [Gon97] propôs um modelo de metadados para ser utilizado em bibliotecas digitais. Esta hierarquia de metadados difere de outras propostas de mesmo tipo por agregar diversos padrões de metadados e por ser extensível. Nesta hierarquia, os metadados são modelados como tuplas que abstraem termos, definições e valores. A tabela 2.4 apresenta as classes de metadados propostas pelo modelo de Gonçalves.

Classe de Metadados	Descrição
Metadados descritivos	Descrevem as propriedades convencionais dos objetos da biblioteca, auxiliando na busca e facilitando o acesso ao objeto
Metadados espaciais	Descrevem as propriedades espaciais do objeto, auxiliando a realização de consultas espaciais na biblioteca
Metadados temporais	Descrevem as propriedades temporais dos objetos da biblioteca
Metadados administrativos	Descrevem as propriedades relacionadas ao gerenciamento de um objeto na biblioteca
Metadados de referência indireta	Apresentam os relacionamentos entre os objetos da biblioteca
Metadados particulares	Descrevem as propriedades próprias e particulares para certas classes de objetos que não são cobertas pelos conjuntos acima

Tabela 2.4: Classes de metadados do modelo proposto por [Gon97].

A hierarquia proposta por este modelo permite acrescentar novos conjuntos de metadados, possibilitando que diferentes comunidades proponham outros tipos de metadados

a fim de atender suas necessidades. Além disso, permite a definição de novos papéis para os metadados.

2.7 Trabalhos Correlatos

Esta dissertação combina *workflows* e técnicas de bancos de dados no contexto de planejamento ambiental. Existem várias propostas que integram estas duas tecnologias. Para citar algumas iniciativas mais recentes, considere os trabalhos de Kim et al. [KSL02], Liu et al. [LLZO99] e Ailamaki et al. [AIL98]. Kim et al. [KSL02] descrevem um sistema de suporte à modelagem de *workflows*, no âmbito empresarial, que utiliza uma técnica de Inteligência Artificial denominada **Raciocínio Baseado em Casos** (CBR - *Case-based Reasoning*). CBR é uma técnica de resolução de problemas que reutiliza casos precedentes, experiências ou conhecimento tácito. Um repositório de *workflows* (denominado **Base de Casos**) dá suporte à aplicação da técnica e o sucesso do sistema depende da manutenção dessa base.

Liu et al. [LLZO99] apresentam o projeto de um repositório de *workflows* para armazenar e gerenciar os metadados provenientes das fases de especificação, execução e administração de *workflows*. O protótipo do repositório é construído sobre um banco de dados orientado a objetos baseado em um metamodelo de *workflows* proposto pelo trabalho.

Ailamaki et al. [AIL98] apresentam o gerenciamento de *workflows* científicos através de um banco de dados. Um *workflow* é visto como uma teia de objetos de dados interconectados com ligações ativas que carregam descrições do processo. O *workflow* é completamente definido como um esquema no banco de dados e sua execução consiste na construção gradual de um instância desse esquema através das ligações ativas entre objetos.

A utilização de *workflows* em domínios não comerciais tem se intensificado nos últimos anos, a exemplo dos trabalhos de Holowzack et al. [HCAA01], Kochut et al. [KAS⁺02], Bui e Sankaram [BS01] e Carvalho et al. [CFC01, CCC⁺02]. Holowzack et al. [HCAA01] introduzem o conceito de *workflows* geospaciais para designar *workflows* que representem serviços públicos governamentais envolvendo localizações geográficas, como é o caso de processos de autorização para contruir ou preservar áreas. Estes *workflows* são construídos a partir dos requisitos do usuário em conjunto com leis e regulações governamentais que regem estes processos.

Kochut et al. [KAS⁺02] descrevem o projeto e implementação inicial de um sistema de *workflow* distribuído para suportar atividades em um laboratório de genoma. O objetivo é criar um sistema de *workflow* altamente flexível que possa coordenar, gerenciar e programar atividades de laboratório, incluindo aquelas que envolvam coleta, uso e com-

partilhamento dos dados experimentais necessários.

Bui e Sankaram [BS01] discutem o conceito de um **Centro Virtual de Informações** (VIC - *Virtual Information Center*) para lidar com situações de desastre. O papel do VIC é coordenar e processar um grande número de requisições de informações para equipes de preparação/gerenciamento/recuperação de desastres, essencialmente através da modelagem de *workflows*.

Seguindo a mesma linha, Carvalho et al. [CFC01, CCC⁺02] apresentam o InfoPAE, um sistema de planos de emergência utilizado pela PETROBRAS para gerenciar e monitorar tarefas em incidentes envolvendo dutos de óleo e gás. Um plano no InfoPAE define uma coleção de ações, estruturadas na forma de um *workflow*. A execução do *workflow* indica ao usuário quais procedimentos (pré-especificados) devem ser executados em casos de emergência.

Kaster [Kas01] propõe a extensão do sistema WOODSS para acomodar um módulo de recuperação de *workflows*, também baseado na técnica CBR. Entretanto, seu trabalho comprova que esta técnica é limitada para o domínio ambiental, devido à abrangência do domínio e a conseqüente flexibilidade exigida dos mecanismos propostos.

Cavalcanti et al. [CMC⁺02a, CMC⁺02b] propõem uma arquitetura para intercâmbio e disseminação de informações científicas em aplicações ambientais. Esta arquitetura é baseada em um sistema de banco de dados distribuído e heterogêneo, denominado LeSelect [TRV98]. A idéia é fornecer suporte para compartilhamento de modelos, experimentos e *workflows* científicos.

A grande maioria dos trabalhos correlatos citados implementam modelos genéricos pré-definidos. Estes modelos são construídos a partir de regulações legais existentes (como é o caso de Holowzack et al. [HCAA01]) ou são baseados em processos padrão bem conhecidos para a resolução de problemas também já previstos (a exemplo do InfoPAE [CFC01, CCC⁺02]). Nestes casos, o papel do banco de dados limita-se a armazenar as definições dos *workflows* para consultas posteriores, quando da sua execução ou em processos de auditoria.

O enfoque desta dissertação, porém, é auxiliar o usuário a desenvolver novos modelos e executá-los em um SIG, baseados em sua experiência de modelagem. O desafio é ainda maior quando se considera a abrangência do domínio ambiental e sua complexidade inerente, o que requer um grande grau de flexibilidade da solução proposta.

Esta dissertação apresenta a proposta de associar metadados aos *workflows* para auxiliar em sua recuperação apropriada para as necessidades de resolução de novos problemas. Atualmente, o trabalho do *Work Flow Metadata Initiative* [Wor01] representa a única iniciativa em se criar um padrão de metadados para documentar *workflows*. A proposta não é definitiva e está ainda em fase de discussão. Entretanto, a se basear pela versão *draft*, este padrão é bem restrito, limitando-se a documentar apenas os elementos básicos de um

workflow, em grande parte utilizando apenas os elementos do padrão *Dublin Core*.

2.8 Resumo

Este capítulo descreveu os conceitos básicos que serão utilizados no decorrer desta dissertação: o conceito de planejamento ambiental, o uso de SIG nesse tipo de atividade e uma metodologia de desenvolvimento de aplicações ambientais; os conceitos de *workflows* e *workflows* científicos e a utilização destes últimos na documentação de atividades de planejamento ambiental, implementada pelo sistema WOODSS; o conceito de metadados, sua importância e a descrição de alguns padrões de metadados. Além disso, o capítulo ainda apresentou alguns trabalhos correlatos que tratam de *workflows* e bancos de dados.

O próximo capítulo descreve o padrão de metadados proposto para *workflows* que documentam atividades de planejamento ambiental. A definição desse padrão é fortemente baseada nos padrões existentes e apresentados neste capítulo.

Capítulo 3

Adicionando Metadados aos *Workflows*

Este capítulo descreve o padrão de metadados proposto para *workflows* utilizados na documentação de atividades de planejamento ambiental. A definição do conjunto de metadados apropriado é indispensável para o processo de localização de informações e avaliação de sua adequabilidade para usuários específicos. A utilização de metadados neste contexto possibilita a agregação de informações importantes sobre o domínio e estabelece um nível semântico mais rico aos *workflows*.

O capítulo está organizado da seguinte maneira: a seção 3.1 apresenta uma breve introdução sobre a importância do uso de metadados no gerenciamento de *workflows*; a seção 3.2 descreve os requisitos de documentação de *workflows* para atividades de planejamento ambiental; a seção 3.3 apresenta o conjunto de metadados proposto, detalhando a função de cada componente; a seção 3.4 apresenta um estudo de caso de planejamento ambiental documentado através de um *workflow* associado ao padrão de metadados proposto; por fim, a seção 3.5 apresenta o resumo do capítulo.

3.1 A Necessidade dos Metadados

Metadados nesta dissertação são a principal forma para descrever *workflows*. Além da utilidade no processo de recuperação de dados, os metadados são também essenciais para o uso efetivo dos dados recuperados e para dar suporte aos mecanismos de interoperabilidade [GV98]. Em síntese, além de permitir a descrição de cada *workflow*, o uso de metadados também dá suporte a uma variedade de funções que permitem a reutilização de *workflows*: localização, avaliação, seleção e recuperação [MCB98]. Um *workflow* pode ser considerado como um objeto complexo e composto, incluindo em sua estrutura outros dados complexos. Exemplos destes últimos, no contexto da dissertação, são os dados

geográficos, que exigem operações especiais em sua manipulação. Os metadados têm um papel mais importante no gerenciamento de dados dessa natureza do que no gerenciamento de dados estruturados tradicionais. Segundo Boll et al. [BKS98], algumas razões para isso incluem:

- **Paradigma de busca** - O paradigma de busca por casamento exato (*exact-match*) não é o mais apropriado para dados e objetos dessa natureza;
- **Técnicas de processamento** - Técnicas de processamento baseadas em conteúdo são difíceis de se analisar e a busca baseada nestas técnicas são limitadas pelo número de algoritmos de casamento disponíveis. Além disso, a descrição do conteúdo de um *workflow* é em geral limitada à enumeração de seus componentes. O processamento e recuperação indiretos, que utilizam informações abstratas ou metadados constituem abordagens promissoras, pois o volume de metadados é bem menor do que o volume dos próprios dados;
- **Eficiência** - A busca baseada em conteúdo, quando possível, não pode ser utilizada freqüentemente por questões de desempenho;
- **Semântica** - Informações importantes sobre contexto e semântica dos dados são mais fáceis de serem extraídas a partir dos metadados do que dos próprios dados.

Outro ponto que merece ser salientado é a troca de experiências entre especialistas. Como a experiência neste tipo de atividade é algo valioso, os especialistas têm interesse em compartilhar seus históricos de estratégias desenvolvidas. Entretanto, pela característica multidisciplinar da área de planejamento ambiental, é comum existirem processos similares que seguem diferentes padrões, de acordo com as regiões que cobrem ou especialista que desenvolve. Por exemplo, ecologistas de duas regiões diferentes podem usar índices de poluição diferentes. Estas diferenças de padrões e taxonomias dificultam a tarefa de integração de dados [CMC⁺00]. A existência de metadados, neste cenário, fornece o suporte básico para superar problemas como esse.

3.2 Requisitos de Documentação de *Workflows*

Para definir um padrão de metadados para *workflows* é necessário, antes de mais nada, levantar os requisitos de documentação em função do domínio que se quer representar, no caso específico desta dissertação, atividades de planejamento ambiental. São esses requisitos que fornecerão as abstrações apropriadas do domínio em estudo e nortearão a escolha das propriedades que efetivamente necessitam ser registradas.

Basicamente, três perspectivas distintas podem ser consideradas para se levantar os requisitos de documentação de *workflows*:

- **Perspectiva dos componentes de um *workflow*** – Um *workflow* é composto principalmente por atividades, dados e dependências. Estes componentes, quando considerados individualmente, apresentam suas próprias características semânticas [MCB98]. Considere, por exemplo, um componente do tipo *dado* de um *workflow*: no domínio de planejamento ambiental, esses dados são majoritariamente mapas (dados geográficos). Os dados geográficos apresentam, mesmo se tomados isoladamente, requisitos de documentação próprios, como: qualidade, método de coleta, entre outros [fgd98];
- **Perspectiva do *workflow* completo** – Um *workflow*, enquanto documento de uma estratégia, deve dar suporte à documentação de todas as etapas do planejamento ambiental. Mesmo que um *workflow* não represente todo o processo, os metadados devem suprir os requisitos de todas as fases que um *workflow* possa representar. Além do mais, neste nível temos a definição de restrições globais sobre o processo. Restrições controlam a execução do trabalho, assegurando que foi realizado corretamente [SO97];
- **Perspectiva do repositório de *workflows*** – O sistema de catálogo de estratégias desenvolvidas pelos especialistas pode ser representado com um repositório de *workflows*. Como tal, segundo Liu et al. [LLZO99], o repositório deve fornecer alguns serviços como: (1) operações básicas para todos os dados armazenados no repositório de *workflows*; (2) navegação estruturada e edição das estruturas de *workflows*; (3) facilidades de pesquisa e recuperação de *workflows* e (4) gerenciamento de contexto, otimizando as buscas através, por exemplo, de agrupamento de *workflows* afins. Alguns recursos podem ser utilizados, como por exemplo: palavras-chave e atributos de referência entre *workflows*.

Para se criar um padrão de metadados, além de atender a esses requisitos de documentação, algumas questões também devem ser consideradas [IW97]:

- Como existem vários padrões de metadados, é possível que um recurso seja descrito por mais que um conjunto de atributos de metadados. Como lidar com esta situação quando conjuntos diferentes de descritores estão envolvidos?
- Extensões aos padrões de metadados existentes devem ser suportados para acomodar informações locais e novos tipos de recursos;
- A internacionalização dos padrões deve ser considerada;

- Os metadados necessitam estar associados diretamente aos recursos que descrevem. A consistência dos metadados é essencial para o uso dos dados. Por essa razão, os metadados devem ser gerados ao mesmo tempo que os recursos são criados e modificados assim que os recursos sofram mudanças;
- Metadados são dados. Logo, apresentam problemas de armazenamento e acesso, bem como dificuldades para a interpretação correta do seu conteúdo.

Essas recomendações, sempre que possível, devem ser observadas na definição de um padrão de metadados. Além disso, o padrão deve incluir atributos que satisfaçam os requisitos de documentação levantados nessa seção. O estudo de padrões de metadados existentes pode ser útil na especificação de um conjunto preliminar de atributos, completado posteriormente pelas especificidades do domínio em estudo.

3.3 Descrição do Padrão de Metadados Proposto

Atualmente, não existem padrões de metadados específicos para *workflows*, ainda mais quando estes *workflows* servem de documentação para atividades de planejamento ambiental. Os padrões de metadados mais genéricos, como o *Dublin Core*, são incipientes para representar toda a complexidade destes *workflows*. A situação é complicada por características peculiares como: (1) Os *workflows* utilizam extensivamente dados geográficos, que são dados complexos e contam com uma variedade de padrões de metadados já existentes; (2) O planejamento ambiental é uma atividade multidisciplinar, em que cada especialista ou grupo de especialistas aplica metodologias ou utiliza taxonomias distintas, o que dificulta a tarefa de estabelecer um padrão consensual que atenda os diferentes grupos envolvidos.

O padrão de metadados proposto nesta dissertação é resultado do estudo dos padrões de metadados existentes e as necessidades de documentação levantadas para atividades de planejamento ambiental. O padrão de metadados é dividido em 7 classes: **Metadados Descritivos**, **Metadados de Referência Espacial**, **Metadados de Referência Temporal**, **Metadados de Qualidade**, **Metadados Administrativos**, **Metadados Particulares** e **Metadados de Referência Indireta**. A organização dos metadados nestes grupos específicos é baseada na proposta de [Gon97] para metadados para bibliotecas digitais geográficas.

As próximas seções descrevem com detalhes as classes componentes do padrão de metadados proposto.

3.3.1 Metadados Descritivos

Esta classe modela os atributos básicos dos objetos, facilitando a descoberta e indexação dos documentos armazenados. É baseada no padrão *Dublin Core*. A tabela 3.1 apresenta os atributos definidos para esta classe, suas descrições e os tipos de objetos aos quais se aplicam – *workflow* (w), dado geográfico (d), atividade (a) ou dependência (dep).

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Título	Nome dado ao objeto	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Descrição	Caracterização do objeto, especificando seu contexto. Para <i>workflows</i> , adicionar uso pretendido	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Autor	Pessoa, agente ou dispositivo primariamente responsável pelo conteúdo intelectual do trabalho	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Endereço	Meios de contato com o autor	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Publicador	Agente ou agência responsável pela disponibilização do conjunto de dados	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Data	Data de publicação do conjunto de dados	<i>data</i>	w, d, a, dep
Palavras-chave	Palavras ou frases que sumarizam um aspecto do objeto	<i>lista(texto)</i>	w, d, a, dep

Tabela 3.1: Descrição da classe Metadados Descritivos.

3.3.2 Metadados de Referência Espacial

Esta classe descreve as propriedades espaciais dos objetos, fornecendo suporte para consultas envolvendo localização (perguntas do tipo “Onde...?”). É baseada no padrão FGDC [fgd98]. A tabela 3.2 apresenta os atributos definidos para esta classe.

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Localização	Conjunto de localizações espaciais referenciado pelo objeto. <i>Workflows</i> podem referenciar várias regiões e dados apenas uma	<i>texto</i>	w, d, a
Região	Regiões referenciadas pelo objeto	<i>texto</i>	w, d, a
Coordenadas	Coordenadas referenciadas pelo objeto. Para <i>dado</i> , informar apenas um par de coordenadas	<i>lista(latitude, longitude)</i>	w, d, a
Extensão	Abrangência territorial da região em estudo. Esta medida permite avaliar o porte da região.	<i>área</i>	w, d, a

Tabela 3.2: Descrição da classe Metadados de Referência Espacial.

3.3.3 Metadados de Referência Temporal

Esta classe representa os tempos de validade para o conjunto de dados, dando suporte às consultas temporais dos usuários. A tabela 3.3 apresenta os atributos de metadados definidos para esta classe. Ressalte-se que vários fatores podem determinar o tempo de validade de objetos, incluindo, por exemplo, o período de vigência de regulações legais que impeçam ou determinem a execução de atividades específicas.

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Validade	Tempos de validade do objeto. O tempo pode incluir hora, dia, mês, ano, entre outros	<i>lista(início, fim)</i>	w, d, a, dep

Tabela 3.3: Descrição da classe Metadados de Referência Temporal.

3.3.4 Metadados de Qualidade

Esta classe descreve o grau de qualidade de um determinado conjunto de dados. Este conjunto foi adaptado do trabalho de Alencar [Ale00] e é importante pois permite avaliar se um conjunto de dados atende os requisitos de qualidade exigidos por uma aplicação. A tabela 3.4 apresenta os atributos para esta classe. Os oito primeiros atributos correspondem a medidas comumente utilizadas para se avaliar a qualidade de dados geográficos, fazendo parte inclusive do padrão FGDC [fgd98]. Os demais atributos foram propostos por Alencar como forma de quantificar o nível de sucesso do *workflow* e o grau de importância dos dados no resultado final.

3.3.5 Metadados Administrativos

Esta classe apresenta as informações sobre os próprios metadados. Através destas informações é possível avaliar a atualidade dos metadados. A tabela 3.5 apresenta os atributos para esta classe.

3.3.6 Metadados Particulares

Esta classe descreve os metadados específicos de cada objeto não cobertos pelos conjuntos anteriores. A tabela 3.6 apresenta os atributos para esta classe. Alguns desses metadados merecem uma discussão à parte, por serem distintos da maioria dos dados descritos. Uma parte está diretamente relacionada com a metodologia de desenvolvimento de aplicações ambientais proposta por Pires [Pir97] (para mais informações, vide seção 2.1.5):

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Precisão Posicional	Grau de conformidade do componente espacial das feições espaciais de interesse existentes na fonte em relação a algum padrão de registro espacial, aqui o sistema de coordenadas geográficas – latitude e longitude	<i>percentual</i>	d
Precisão de Atributo	Proximidade entre os valores atribuídos aos dados na fonte e os valores das feições correspondentes no mundo real	<i>percentual</i>	d
Consistência Lógica	Descreve a fidelidade dos relacionamentos codificados na estrutura de dados do dado espacial	<i>texto</i>	d
Compleitude	Descreve o relacionamento existente entre os objetos da fonte de dados e o mundo real que se deseja representar	<i>texto</i>	d
Linhagem	Descreve a fonte de dados, as fontes auxiliares, os métodos de derivação, as transformações ocorridas e outros processamentos históricos	<i>texto</i>	d
Atualidade	Data em que os arquivos foram inseridos no banco de dados	<i>data</i>	d
Credibilidade	Avaliação da credibilidade que os dados possuem junto ao usuário	<i>percentual</i>	d
Reputação do Fornecedor	Avaliação de reputação que o fornecedor dos dados tem junto ao usuário	<i>percentual</i>	d
Relevância dos Dados	Avaliação da importância dos dados para o sucesso ou insucesso do <i>workflow</i>	<i>percentual</i>	w
Adequabilidade do Resultado	Avaliação do nível de sucesso ou insucesso do <i>workflow</i>	<i>percentual</i>	w

Tabela 3.4: Descrição da classe Metadados de Qualidade.

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Responsável	Pessoa responsável pela manutenção dos metadados	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Contato	Meios de contato com a pessoa responsável	<i>texto</i>	w, d, a, dep
Última Revisão	Datas das últimas revisões dos metadados	<i>lista(data)</i>	w, d, a, dep
Próxima Revisão	Previsões de datas das próximas revisões dos metadados	<i>lista(data)</i>	w, d, a, dep

Tabela 3.5: Descrição da classe Metadados Administrativos.

- **Estratégia Metodológica** – Define qual estratégia o *workflow* implementa. Considerando a diversidade de metodologias existentes, este atributo indica a estratégia escolhida pelo desenvolvedor da aplicação para solucionar o problema. Por exemplo, na aplicação de *mapeamento de riscos de incêndios*, várias estratégias metodológicas podem ser utilizadas, como: estatística de ocorrências de incêndios; correlações com informações como o número de habitantes e índices econômicos da população; e combinação de vários dados demográficos e climáticos com classificação de regiões através de regressões múltiplas;
- **Variáveis** – Relaciona quais informações presentes nos dados de entrada serão de fato utilizadas no planejamento. Exemplos incluem rios, relevo, ocupação do solo, etc;
- **Diretivas** - Corresponde ao conjunto de medidas sugeridas em função dos resultados do plano, como forma de resolver ou minimizar os problemas levantados;
- **Monitoramento** - Conjunto de registros de acompanhamento da implementação das diretivas. Os registros indicam se a implementação das diretivas surte o efeito previsto no plano, apontando a necessidade, ou não, de revisões.

Outra parte dos metadados está relacionada com a própria estrutura do *workflow*, incluindo:

- **Prioridade** - Indica a prioridade de execução de uma atividade em relação às demais. Este atributo é especialmente importante quando atividades que podem ser executadas em paralelo compartilham o mesmo recurso. Neste contexto, um atributo prioridade de menor valor indica a preferência relativa de execução;
- **Pré e pós-condições** – Representam condições que devem ser satisfeitas antes e depois da execução de uma atividade/*workflow*, respectivamente. Em outras palavras, indicam restrições que devem ser observadas durante a execução da atividade/*workflow* como, por exemplo, executar uma atividade apenas em horários determinados;
- **Exceções** - Algumas situações anormais podem ocorrer durante a execução de um *workflow*. Para as exceções que podem ser previstas e são passíveis de tratamento, este atributo registra alternativas para impedir a parada de execução do *workflow*. Um exemplo de exceção que pode ser tratada é o caso da falta de um equipamento que pode ser substituído por outro.

Tabela 3.6: Descrição da classe Metadados Particulares

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Estratégia Metodológica	Descrição do conjunto de métodos que serão utilizados para a concepção da aplicação geográfica	<i>texto</i>	w
Variáveis	Enumeração das variáveis ou fatores selecionados como entrada	<i>texto</i>	w
Diretivas	Medidas sugeridas para solução de problemas	<i>texto</i>	w
Monitoramento	Registro do acompanhamento da implementação das diretivas em comparação com o previsto pela aplicação. Corresponde a uma lista de pares de data e observação realizada	<i>lista(data, texto)</i>	w
Dados de Entrada	Enumeração dos dados de entrada. Corresponde a uma lista de referências para os dados propriamente ditos	<i>lista(id)</i>	w, a
Dados de Saída	Enumeração dos dados de saída. Corresponde a uma lista de referências para os dados propriamente ditos	<i>lista(id)</i>	w, a
Pré-condições	Descrição das condições que devem ser satisfeitas antes que uma atividade possa ser executada	<i>texto</i>	w, a
Pós-condições	Descrição das condições que devem ser satisfeitas antes que uma atividade possa terminar sua execução	<i>texto</i>	w, a
Exceções	Especificação de situações anormais que possam ocorrer durante a execução de uma tarefa e a reação correspondente	<i>lista(exceção, reação)</i>	w, a
Custo	Custo associado a execução de uma atividade ou <i>workflow</i>	<i>texto</i>	w, a
Atomicidade	Indica o grau de aninhamento de uma atividade	<i>{atômica, sub-workflow}</i>	a
Obrigatoriedade	Indica a necessidade, ou não, da atividade em um <i>workflow</i>	<i>{obrigatória, opcional}</i>	a
Modo de Automação	Descreve o grau de automação de uma tarefa	<i>{manual, automática, híbrida}</i>	a
Prioridade	Um valor que descreve a prioridade de uma atividade quando inicia sua execução	<i>{0, 1, 2, 3, ...}</i>	a

continua na próxima página

Tabela 3.6: Descrição da classe Metadados Particulares (continuação)

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Ação	Relaciona a execução de uma atividade automática a uma aplicação e a função correspondente	<i>(aplicativo, procedimento)</i>	a
Agente	Pessoa ou entidade responsável pela execução de tarefas	<i>texto</i>	a
Papel	Função exercida por um agente ao executar uma tarefa	<i>texto</i>	a
Parâmetros	Conjunto de parâmetros para execução de um procedimento	<i>texto</i>	a
Localização	Representa a localização relativa de uma atividade no <i>workflow</i>	<i>{inicial, intermediária, final}</i>	a
Recursos	Relação dos recursos necessários para execução de uma atividade	<i>texto</i>	a
Atributos Estendidos	Atributos definidos pelo usuário, quando necessário, para expressar qualquer característica adicional	<i>lista (descrição, valor)</i>	w, d, a, dep

3.3.7 Metadados de Referência Indireta

Esta classe inclui referências indiretas a outros objetos que podem prover informação adicional sobre o objeto que está sendo descrito. A Referência Indireta pode, por exemplo, referenciar uma ontologia específica do domínio, quando definida, para prover o significado dos próprios atributos de um objeto. A tabela 3.7 apresenta os atributos para esta classe.

Atributo	Descrição	Domínio	Aplicado a
Dado relacionado	Dados inter-relacionados. Através dessa referência é possível particionar o conjunto de objetos segundo a semântica de interesse do usuário	<i>lista(semântica, id)</i>	w, d, a, dep

Tabela 3.7: Descrição da classe Metadados de Referência Indireta.

3.4 Exemplo de utilização

Esta seção apresenta um estudo de caso de planejamento ambiental documentado através de um *workflow* associado ao padrão de metadados proposto. O estudo de caso se refere à avaliação de áreas para instalação de um aterro sanitário no município de Osório/RS e foi adaptado de Weber e Hasenack [WH00]. Como não foi possível repetir o trabalho dos autores, por falta dos dados utilizados, este exemplo é baseado no que foi possível determinar a partir do artigo publicado. Por esta razão, vários dos metadados não puderam ser determinados.

3.4.1 Descrição do Estudo de Caso

A área de estudo é o município de Osório, situado na planície costeira do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, a cerca de 100km da capital Porto Alegre. Osório possui uma população de 35.227 habitantes e área territorial de $666,12\text{km}^2$. O lixo recolhido na área urbana não recebe nenhum tratamento ou triagem, e o material coletado ainda é depositado diretamente a céu aberto, ou seja, em um lixão. O objetivo da aplicação é fazer um zoneamento de aptidão à instalação de um aterro sanitário no município. O resultado constitui um mapa de aptidão da superfície, em que cada ponto recebe uma “nota” que indica sua aptidão individual ao propósito desejado. A partir desse mapa é possível aplicar um limiar para a seleção das áreas aptas, possibilitando a avaliação de alternativas de acordo com a intensidade da filtragem.

Entretanto, a avaliação deve ser feita com base em critérios pré-estabelecidos. De acordo com a *Teoria da Decisão*, um critério é alguma base mensurável e avaliável para uma decisão, e pode constituir um fator ou uma restrição [WH00]. **Restrições** são aqueles critérios que cerceiam ou limitam a análise em foco. Neste estudo de caso, em especial, as restrições diferenciam áreas ou alternativas que podem ser consideradas aptas/não aptas para a destinação final de resíduos sólidos. **Fatores**, por outro lado, são critérios que realçam ou diminuem a importância de uma alternativa em consideração na análise. Aqui, os fatores definem um grau de aptidão em função da área em análise.

Para identificar as áreas aptas à implantação de um aterro sanitário foram estabelecidos os seguintes critérios:

1. **Distância mínima das rodovias**, estabelecida em 200 metros, objetivando preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro;
2. **Distância mínima das áreas de preservação ambiental permanente (corpos e cursos d’água)**, visando preservar os recursos hídricos de possíveis contaminações por efluentes, de acordo com o que estabelece a legislação pertinente;

3. **Limites do município de Osório**, restringindo a área de análise aos limites do município.

O grau de aptidão de cada área é definido em função dos seguintes fatores:

1. **Distância das rodovias**, considerando-se que a abertura de um acesso para a área encarece os custos de implantação e operação do aterro sanitário. Menores distâncias implicam em menores custos;
2. **Distância de áreas urbanas**, também visando a economia no processo de operação do aterro sanitário. De novo, menores distâncias implicam em menores custos, pois o percurso dos caminhões de coleta de lixo será menor;
3. **Declividades**, considerando-se que baixas declividades favorecem as operações de movimentação de resíduos e solos, além de oferecerem condições menos críticas para os sistemas de drenagem;
4. **Geologia e solos**, considerando-se as áreas mais propícias para a implantação do aterro em função da permeabilidade do terreno, disponibilidade de material terroso para recobrimento e profundidade do lençol freático.

A figura 3.1 apresenta o *workflow* correspondente à parte de desenvolvimento da estratégia em um SIG. As demais etapas do processo, como planejamento, inventário e avaliação não serão apresentadas nesta dissertação por questões de simplificação.

As restrições (1) e (2) são implementadas da mesma maneira: o mapa de uso do solo é reclassificado para outro mapa que destaca apenas as rodovias e os corpos e cursos d'água; em seguida, uma função estende a periferia destas entidades ao tamanho definido pelas restrições; os resultados destas operações são mapas que identificam áreas próximas às rodovias e corpos e cursos d'água que são proibidas para a instalação de aterros sanitários.

A restrição (3) é implementada com uma função que identifica os limites do município de Osório.

Os mapas resultantes das três restrições são combinados, o que produz um novo mapa com a soma de todos os lugares não aptos, denominado **mapa de restrições**.

Os fatores (1) e (2) são implementados também da mesma maneira: o mapa de uso do solo é utilizado para se calcular a distância de todos os pontos até a rodovia ou área urbana mais próxima, respectivamente. Os resultados são mapas que representam a distância de cada ponto em relação às rodovias e áreas urbanas.

O fator (3) é implementado através de uma função que calcula a declividade de cada ponto sobre o mapa de modelo digital de elevação.

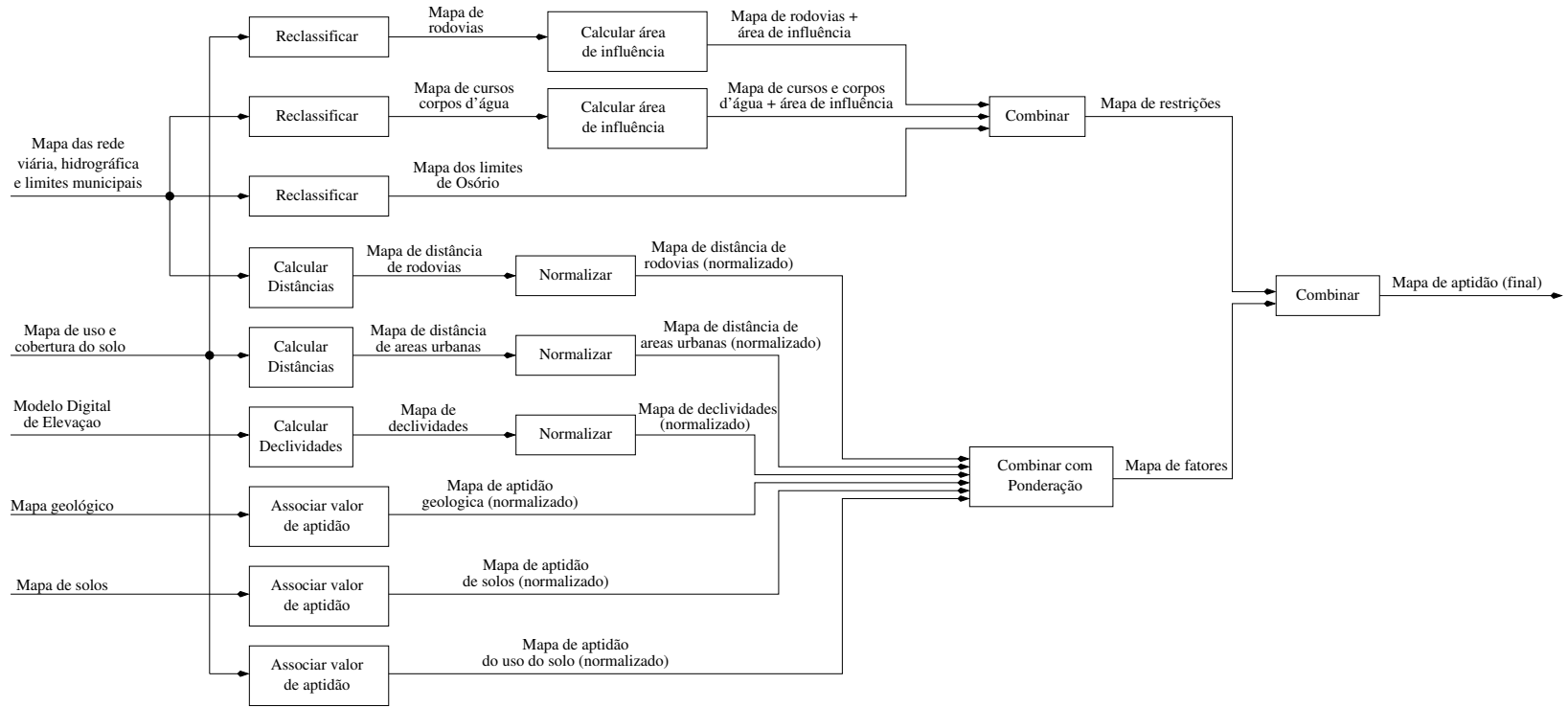


Figura 3.1: *Workflow* de estratégia para avaliação de aptidão de terras

Os demais fatores são implementados através de funções que associam um grau de aptidão a cada classe de valor presente nos mapas de entrada – mapa geológico, uso dos solos e cobertura do solo.

Todos os mapas que implementam fatores precisam ser normalizados, ou seja, precisam de uma operação de adequação de valores para uma faixa comum. O processo de normalização é imprescindível para que o resultado final seja correto. Apenas aqueles que passaram por atividades de associação de valor de aptidão não precisam ser normalizados, porque a associação de valor já considera a normalização.

Ao fim da normalização, os mapas são combinados em um único, segundo pesos atribuídos de acordo com a maior ou menor influência do fator na avaliação final. Este mapa representa o grau de aptidão de cada área baseado na avaliação dos vários critérios pré-estabelecidos. Entretanto, algumas áreas não são aptas a implantação do aterro, representadas pelo mapa de restrições obtido inicialmente. A combinação então destes dois mapas representa o resultado final, onde são apresentadas as regiões aptas e o seu correspondente grau de aptidão para a implantação do aterro sanitário.

Para efeito de ilustração, a figura 3.2 apresenta o mapa resultante deste processo. Note-se que o depósito atual de lixo encontra-se sobre uma pequena área de média aptidão, circundada por áreas de aptidão maior. Entretanto, o mapa indica, segundo as restrições e fatores considerados, que as áreas de mais alta aptidão encontram-se na maior parte da metade sul do município. Esta informação permite racionalizar a aplicação de recursos financeiros e a escolha de alternativas mais adequadas do ponto de vista técnico e ambiental [WH00].

3.4.2 Uso do Padrão de Metadados

As tabelas a seguir exemplificam o uso do padrão de metadados proposto, apresentando os conjuntos de atributos para o *workflow* do estudo de caso, para uma de suas atividades e um de seus dados.

A tabela 3.8 mostra o conjunto de atributos para o *workflow*.

A tabela 3.9 mostra o conjunto de atributos para a atividade de reclassificação do mapa de uso do solo para obter o mapa de rodovias.

A tabela 3.10 mostra o conjunto de atributos para o dado mapa de uso do solo.

3.5 Resumo

Este capítulo descreveu o padrão de metadados proposto para *workflows* que documentam atividades de planejamento ambiental. Esse padrão de metadados permite o registro detalhado de todo o processo de planejamento ambiental, visando o suporte a consultas

sobre estratégias desenvolvidas por especialistas. Desta forma, torna-se possível acumular experiência em planejamento ambiental de uma forma sistematizada.

O próximo capítulo descreve o sistema WOODSS e alguns aspectos de implementação para que ele se torne uma base para a acomodação do padrão de metadados proposto.

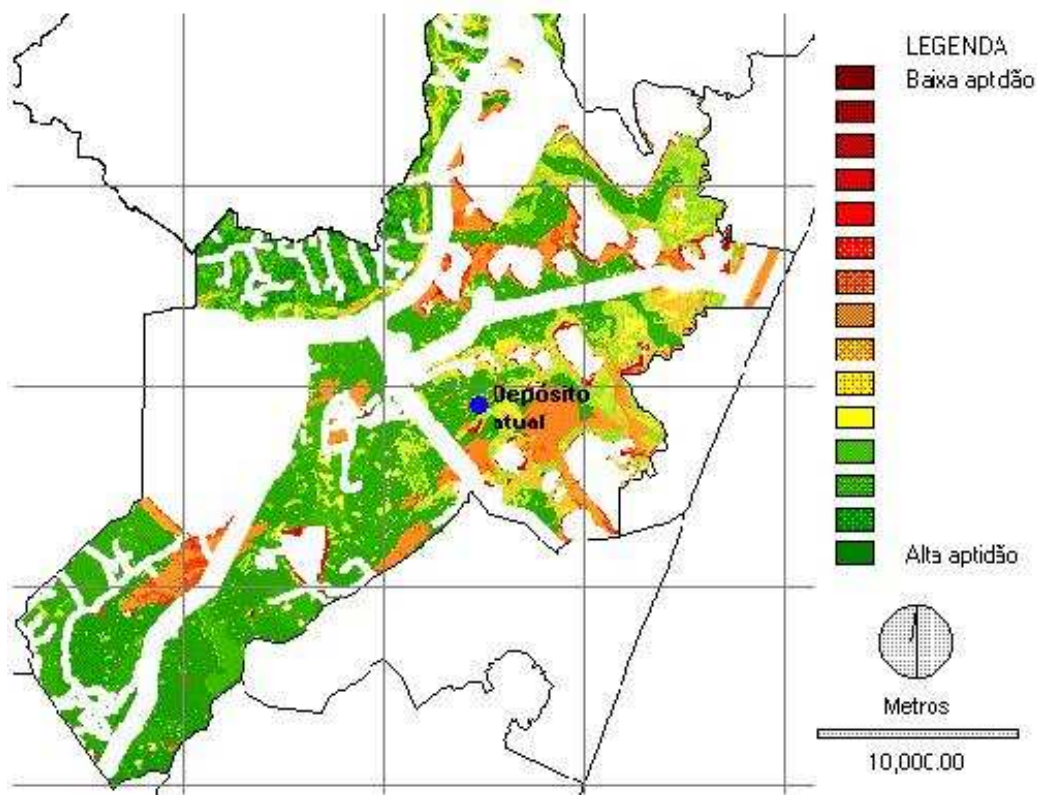


Figura 3.2: Mapa resultante do estudo de caso.

Tabela 3.8: Estudo de Caso: Metadados de um *workflow*

Workflow		
Metadados Descritivos	Título	<i>Avaliação de aptidão de áreas para instalação de aterro sanitário</i>
	Descrição	<i>Estratégia para fazer um zoneamento de aptidão a instalação de um aterro sanitário no município de Osório/RS</i>
	Autores	<i>Eliseu Weber; Heinrich Hasenack</i>
	Endereço	<i>eweber@ecologia.ufrgs.br; hasenack@ecologia.ufrgs.br</i>
	Publicador	<i>Centro de Recursos IDRISI Brasil http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/idrиси/</i>
	Data	<i>11/12/2000</i>
	Palavras-chave	<i>avaliação de aptidão; zoneamento; aterro sanitário</i>
Metadados Espaciais	Localização	<i>(Osório, Rio Grande do Sul, Brasil)</i>
	Região	<i>Litoral Norte</i>
	Coordenadas	<i>(29° 56' 15" S, 50° 18' 45" W)</i>
	Extensão	<i>666,12km²</i>
Metadados Temporais	Validade	<i>(2000, 2005)</i>
Metadados de Qualidade	Relevância dos Dados	<i>95%</i>
	Adequabilidade do Resultado	<i>90%</i>
Metadados Administrativos	Responsável	<i>Eliseu Weber</i>
	Contato	<i>eweber@ecologia.ufrgs.br</i>
	Última Revisão	<i>11/12/2002</i>
	Próxima Revisão	<i>11/12/2003</i>
Metadados Particulares	Estratégia Metodológica	<i>Análise com classificação contínua dos dados e combinação linear ponderada</i>
	Variáveis	<i>Solos; Geologia; Uso do solo; Declividade; Distância de rodovias; Distância de áreas urbanas</i>

continua na próxima página

Tabela 3.8: Estudo de Caso: Metadados de um *workflow*
(continuação)

	Diretivas	<i>(a) A localização do depósito sobre uma área que não é a melhor, associada aos potenciais impactos de um depósito a céu aberto como é o atual, sugerem que a destinação final dos resíduos sólidos seja deslocada para locais mais apropriados, utilizando-se o mapa de aptidão como guia; (b) Necessidade de medidas para adequada disposição de resíduos sólidos</i>
	Dados de Entrada	<i>Mapa das unidades de mapeamento de solo da região; Mapa da rede viária, hidrográfica e limites municipais; Mapa geológico; Modelo digital de elevação; Mapa de uso e cobertura do solo</i>
	Dados de Saída	<i>Mapa com a distribuição contínua de aptidão à implantação de um aterro sanitário</i>

Tabela 3.9: Estudo de Caso: Metadados de uma atividade

Atividade		
Metadados Descritivos	Título	<i>Reclassificar</i>
	Descrição	<i>Reclassifica o mapa de uso do solo atribuindo o valor 1 para as áreas que são rodovias e 0 para as demais áreas</i>
	Autor	<i>Eliseu Weber; Heinrich Hasenack</i>
	Endereço	<i>eweber@ecologia.ufrgs.br; hasenack@ecologia.ufrgs.br</i>
	Publicador	<i>Centro de Recursos IDRISI Brasil http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/idrisi/</i>
	Data	<i>11/12/2000</i>
	Palavras-chave	<i>reclassificação booleana; rodovias</i>
Metadados Temporais	Validade	<i>(2000, 2005)</i>
Metadados Administrativos	Responsável	<i>Eliseu Weber</i>
	Contato	<i>eweber@ecologia.ufrgs.br</i>
	Última Revisão	<i>11/12/2002</i>
	Próxima Revisão	<i>11/12/2003</i>
Metadados Particulares	Dados de Entrada	<i>Mapa de uso e cobertura do solo</i>
	Dados de Saída	<i>Mapa de rodovias</i>
	Atomicidade	<i>Atômica</i>
	Obrigatoriedade	<i>Obrigatória</i>
	Modo de Automação	<i>Automática</i>
	Prioridade	<i>0</i>
	Ação	<i>(IDRISI, RECLASS)</i>
	Agente	<i>IDRISI</i>
	Papel	<i>SIG</i>
	Parâmetros	<i>OPERAÇÃO=MULTIPLICAÇÃO, RODOVIAS=1</i>
Localização	<i>Inicial</i>	

Tabela 3.10: Estudo de Caso: Metadados de um dado

<i>Dado</i>		
Metadados Descritivos	Título	<i>Mapa de uso e cobertura do solo</i>
	Descrição	<i>Mapa indicando o uso atual do solo no município de Osório/RS</i>
	Autor	<i>Eliseu Weber; Heinrich Hasenack</i>
	Endereço	<i>eweber@ecologia.ufrgs.br; hasenack@ecologia.ufrgs.br</i>
	Publicador	<i>Centro de Recursos IDRISI Brasil http://delmonio.ecologia.ufrgs.br/idrisi/</i>
	Data	<i>11/12/2000</i>
	Palavras-chave	<i>uso do solo; cobertura do solo</i>
Metadados Espaciais	Localização	<i>(Osório, Rio Grande do Sul, Brasil)</i>
	Região	<i>Litoral Norte</i>
	Coordenadas	<i>(29°56'15" S, 50°18'45" W)</i>
	Extensão	<i>666, 12km²</i>
Metadados Temporais	Validade	<i>(2000, 2005)</i>
Metadados de Qualidade	Linhagem	<i>O mapa foi obtido da imagem de satélite Landsat 5, bandas 3, 4 e 5 do sensor TM. Algumas informações cartográficas inexistentes na base cartográfica disponível foram atualizadas com o auxílio de um GPS (Global Positioning System), incluindo o traçado da Estrada do Mar, a localização do depósito de lixo e o traçado da estrada de acesso ao atual depósito</i>
	Atualidade	<i>11/12/2000</i>
	Credibilidade	<i>95%</i>
	Reputação do Fornecedor	<i>95%</i>
Metadados Administrativos	Responsável	<i>Eliseu Weber</i>
	Contato	<i>eweber@ecologia.ufrgs.br</i>
	Última Revisão	<i>11/12/2002</i>
	Próxima Revisão	<i>11/12/2003</i>

Capítulo 4

Aspectos de implementação do WOODSS

Este capítulo descreve o processo de reengenharia e reimplementação do WOODSS para torná-lo mais modular e aberto a expansões futuras. A versão inicial do WOODSS apresentava vários problemas que restringiam iniciativas de extensão do sistema. Tais limitações dificultariam a integração dos metadados propostos no capítulo anterior aos *workflows* armazenados no WOODSS.

Por este motivo, foi necessário reformular o sistema, partindo de sua engenharia reversa seguida por sua recodificação. A versão atual está implementada em JavaTM [Sun97] e os dados estão armazenados no SGBD MySQL [MyS]. O código tem aproximadamente 60 classes Java e 800 métodos, das quais 40 classes (cerca de 66%) foram adicionadas com esta nova versão.

O capítulo está organizado da seguinte maneira: a seção 4.1 apresenta um breve histórico das sucessivas versões do WOODSS, destacando suas principais limitações; a seção 4.2 apresenta a nova arquitetura do sistema, introduzindo o conceito de *módulos de gerência*; a seção 4.3 apresenta seu novo diagrama de classes e organização estrutural; a seção 4.4 descreve o esquema de representação de *workflows* proposto, baseado em padrões internacionais; a seção 4.5 detalha a interligação do WOODSS com o SIG subjacente; a seção 4.6 descreve as adaptações que a interface do sistema sofreu para se adequar à reestruturação dos demais módulos do WOODSS; por fim, a seção 4.7 apresenta o resumo do capítulo.

4.1 Introdução

A primeira versão do WOODSS foi concebida como protótipo na dissertação de mestrado de Seffino [Sef98]. Essa versão era bastante simplificada e os atributos dos *workflows*

eram sequer guardados em um banco de dados, ficando armazenados em arquivos texto à parte. Além disso, apesar do sistema ter sido implementado na linguagem JavaTM, o seu projeto não fazia uso apropriado dos conceitos de orientação a objetos, dificultando sua manutenção e expansão futura. Estas dificuldades, e outras mais específicas, já haviam sido levantadas por Kaster [Kas01].

Kaster propôs um mecanismo de recuperação de *workflows* baseado em técnicas de Inteligência Artificial e encontrou dificuldades em estender o WOODSS para acomodar esse mecanismo. Seu trabalho iniciou o processo de reengenharia e reimplementação total do WOODSS, visando principalmente o uso de orientação a objetos, promovendo algumas mudanças significativas em seu projeto original. Dentre tais mudanças, destacam-se: (1) Reformulação da arquitetura do sistema; (2) Novo diagrama de classes; e (3) Incorporação de mecanismo de busca de *workflows* baseado em CBR (*Case Based Retrieval*, ou seja, recuperação baseada em casos).

A figura 4.1 apresenta as arquiteturas da versão original (a) e da versão de Kaster (b) para o WOODSS. O módulo **Monitor** passou a ser denominado **Interface SIG** e o módulo **Gestor de Workflows** passou a ser chamado **Interface BD**, mantendo as mesmas funcionalidades. A comunicação entre os módulos **Monitor** e **Gestor de Workflows** foi eliminada, passando a ocorrer agora entre os módulos **Interface SIG** (antigo **Monitor**) e **Interface Usuário**.

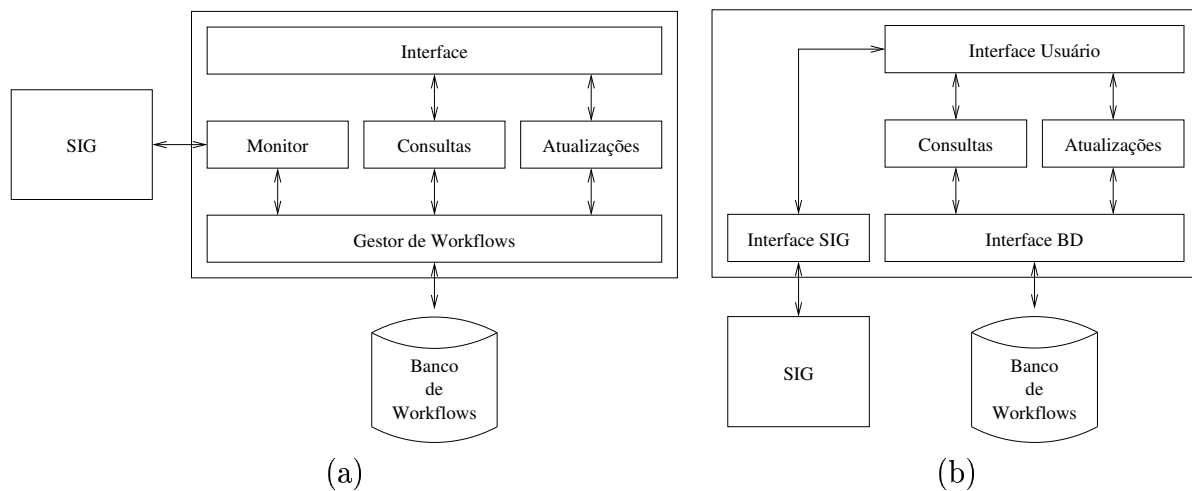


Figura 4.1: WOODSS: (a) Arquitetura original (b) Arquitetura proposta por Kaster

Um novo diagrama de classes também foi proposto. Este novo diagrama representou uma evolução na modularidade do sistema, estabelecendo divisões mais claras entre seus módulos componentes. A figura 4.2 ilustra o diagrama de classes proposto por Kaster.

Ele está dividido em quatro grandes pacotes: CORE, INTER, GIS e DATABASE. O pacote CORE agrupa as classes que compõem o conceito de *workflow*. O pacote INTER engloba as classes da interface com o usuário do sistema, responsáveis pela apresentação de *workflows* e por receber e responder a eventos do usuário. O pacote DATABASE implementa a comunicação do sistema com o SGBD subjacente. Este pacote contém as classes que implementam também a recuperação de *workflows* baseada nas técnicas de CBR. O pacote GIS realiza a interação do WOODSS com o SIG acoplado.

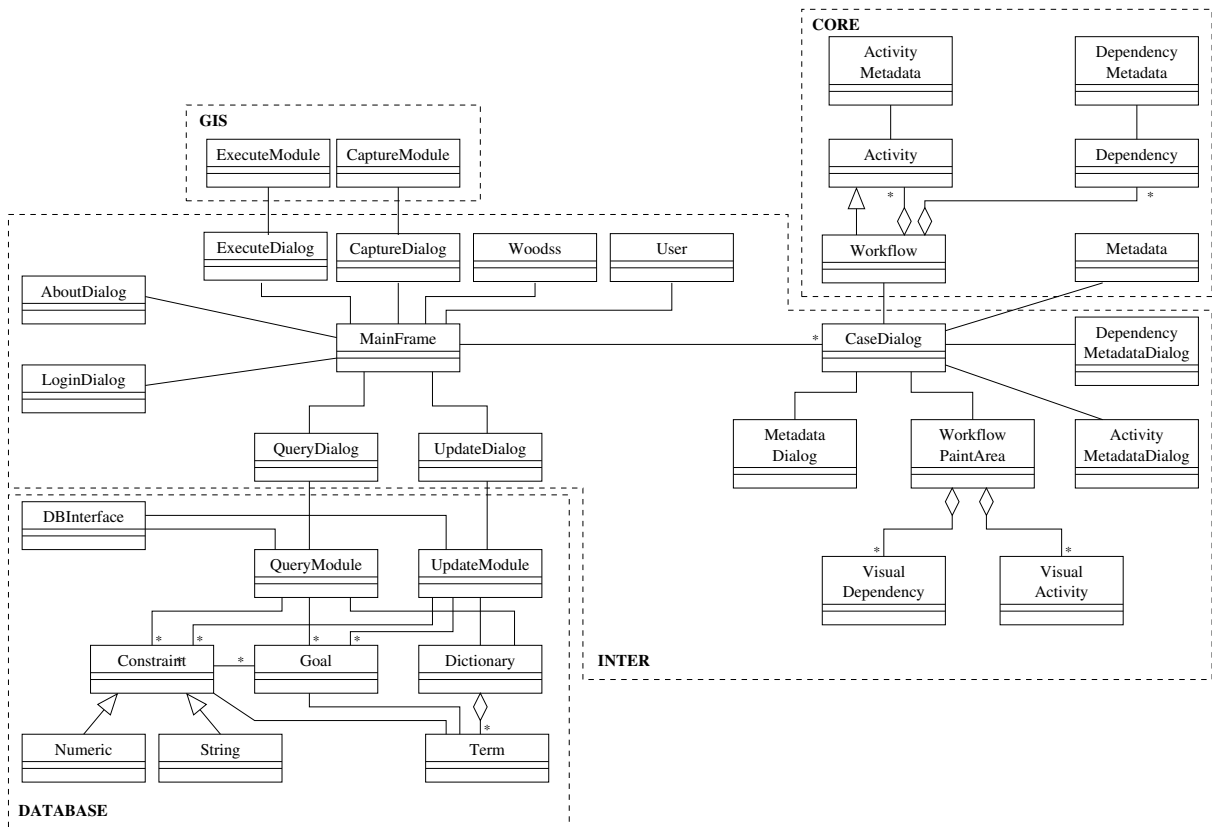


Figura 4.2: Diagrama de Classes proposto por Kaster.

O projeto de Kaster foi implementado parcialmente. Por essa razão e devido também a algumas decisões de projeto tomadas durante a modelagem do sistema, o WOODSS ainda apresentava uma série de restrições no que tange a sua extensibilidade e abrangência.

O primeiro problema consistia na representação de *workflow* dentro do sistema, bastante simplificada, considerando apenas seus elementos básicos: atividades e dependências. A figura 4.3 ilustra o diagrama entidade-relacionamento para essa representação, obtido por engenharia reversa do esquema relacional de Kaster. Note-se que este esquema não

cobre conceitos importantes relacionados a *workflows*, como: sub-*workflows*, papéis e agentes. Não consegue também representar tipos distintos de dependências que podem ocorrer entre atividades de um *workflow* científico, ocasionando perda significativa de semântica.

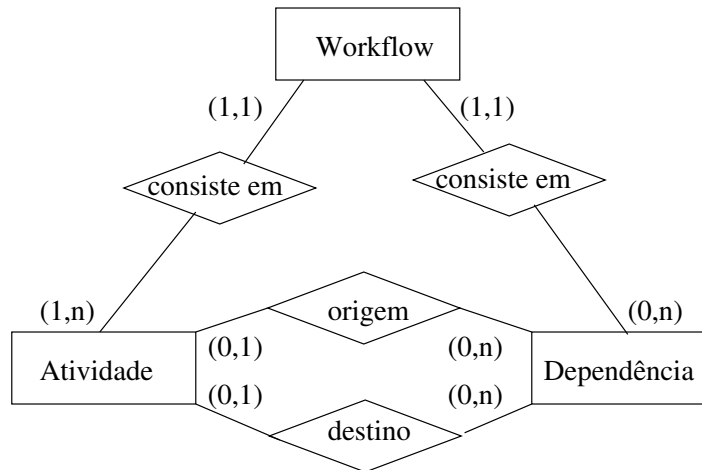


Figura 4.3: Esquema de representação de *workflows* da versão anterior do WOODSS.

Outro problema versa sobre a não separação da manipulação de *workflows* em memória de sua manipulação no banco de dados. Em outras palavras, todas as operações de atualização sobre os *workflows* eram executadas diretamente no banco de dados. A intenção de unir manipulação e persistência de *workflows* não constitui opção de modelagem clara, trazendo sérios riscos à modularidade do sistema e, além disso, implica no aumento excessivo de acessos ao banco de dados. Como terceiro problema, o pacote DATABASE implementa a busca de *workflows* baseada em CBR, que não apresentou resultados satisfatórios para o domínio ambiental, segundo o próprio Kaster [Kas01].

Por fim, na versão de Kaster, o módulo responsável pela interligação com o SIG ainda não havia sido implementado. Dessa forma, o WOODSS não conseguia executar seus *workflows* no SIG e nem construir *workflows* baseados na interação dos usuários com o SIG.

O trabalho de implementação desta dissertação concentrou-se em propor soluções para os problemas levantados aqui, permitindo que o WOODSS possa ser estendido futuramente de uma forma mais natural. As próximas seções descrevem as modificações realizadas, partindo da versão descrita nesta seção e dando continuidade ao seu processo de reengenharia e reimplementação.

4.2 Arquitetura

A arquitetura do WOODSS foi ampliada para torná-lo mais modular e adaptá-lo à incorporação de novos módulos. A figura 4.4 mostra esta nova arquitetura sob o ponto de vista de funções principais. Ela foi projetada de modo a facilitar manutenções e expansões futuras. Uma primeira extensão é a dissertação de [Res03], que acoplou o gerenciamento de diferentes tipos de documentos ao WOODSS. A arquitetura utiliza o conceito de gerência para dividir o sistema em partes lógicas relacionadas e com certa autonomia. O sistema está dividido primariamente em **Gerência SIG**, **Gerência WF** e **Gerência BD**.

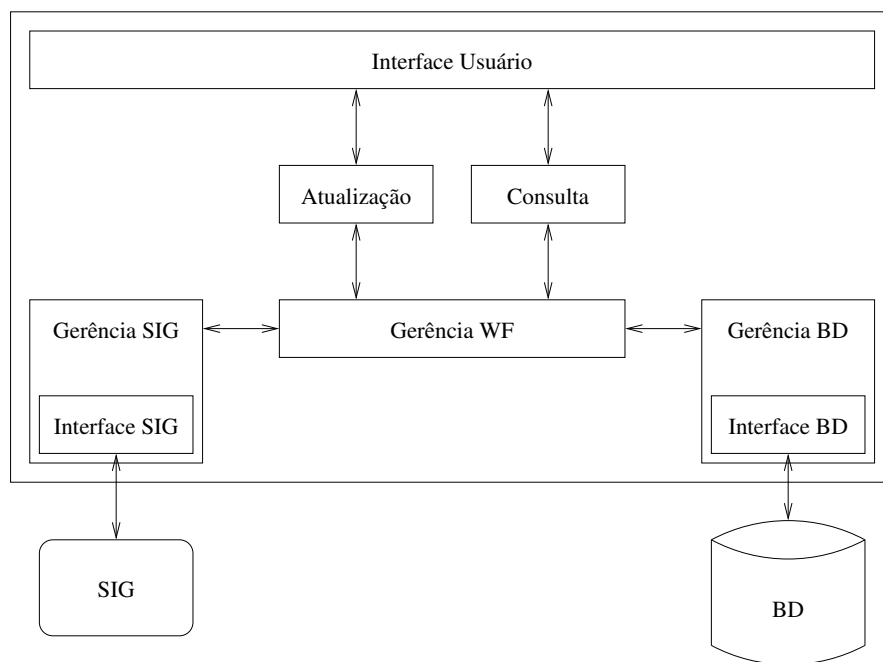


Figura 4.4: Arquitetura proposta para o WOODSS.

A **Gerência SIG** é responsável pelos processos de captura e execução de *workflows* no SIG. O processo de captura consiste em obter a seqüência de operações realizadas pelo usuário no SIG e transformá-la em um *workflow* no WOODSS que represente as mesmas operações. O processo de execução de *workflows* consiste em fazer o SIG executar as operações constituintes de um *workflow* previamente armazenado no *Banco de Workflows*. A comunicação entre o SIG e o WOODSS é implementada pela **Interface SIG**, incorporada à **Gerência SIG**. Isto permite que, no futuro, vários SIG possam ser acoplados ao WOODSS, bastando, neste caso, implementar *drivers* específicos para cada novo sistema dentro da **Interface SIG**.

A Gerência WF é responsável pela manipulação dos *workflows* em memória, ou seja, sua função é manter e controlar as estruturas de dados que representam os *workflows* que estão em processo de edição no WOODSS. A Gerência BD é responsável pela manipulação dos *workflows* no banco de dados, com o qual se comunica através da Interface BD.

Além dos diferentes módulos de gerência, a arquitetura do WOODSS ainda apresenta os módulos de Interface Usuário, Atualização e Consulta. Estes 2 últimos módulos estão colocados na figura para explicitar que estas funções são executadas explicitamente em diferentes pontos de implementação, mas não correspondem a pacotes de implementação. O módulo Interface Usuário possibilita a comunicação entre o usuário e o sistema, traduzindo os comandos do usuário em requisições de atualização e consulta – repassadas para os respectivos módulos de processamento – e apresentando os resultados oriundos do processamento dessas requisições.

4.3 Diagrama de Classes

4.3.1 Visão Geral

A nova versão do WOODSS preserva a divisão em pacotes proposta por Kaster [Kas01], mas houve recodificação de grande parte do sistema. A figura 4.5 ilustra o novo diagrama de classes proposto a fim de incorporar as modificações mencionadas na seção anterior.

Este diagrama modela a divisão do sistema em módulos de gerência e faz uso extensivo de padrões de projeto [GHJV95, Co098] em sua elaboração. Cada tipo de módulo de gerência é organizado em um pacote. Cada pacote possui uma classe especial que funciona como uma interface, canalizando as mensagens de entrada/saída do pacote. Esta configuração do software consiste na junção de dois padrões de projeto bastante difundidos, denominados *singleton* e *facade*, e que provêm um encapsulamento de alto nível para objetos em um sub-sistema.

Tome como exemplo o pacote DOCUMENTS, que implementa a Gerência WF: o pacote agrupa as classes que compõem o conceito de *workflow* dentro do sistema (como Workflow, Activity, Dependency, Data e outras) e a classe WFManager que se comporta como uma interface do pacote DOCUMENTS. A classe WFManager instancia um único objeto responsável por controlar todos os *workflows* presentes em memória, recebendo todas as requisições de edição (que podem incluir a criação/eliminação de *workflows* ou de algum de seus elementos) e também retornando aos módulos clientes o resultado do processamento de suas requisições. Da mesma maneira, as classes GISManager e DBManager funcionam como interfaces dos pacotes GIS e DATABASE, respectivamente.

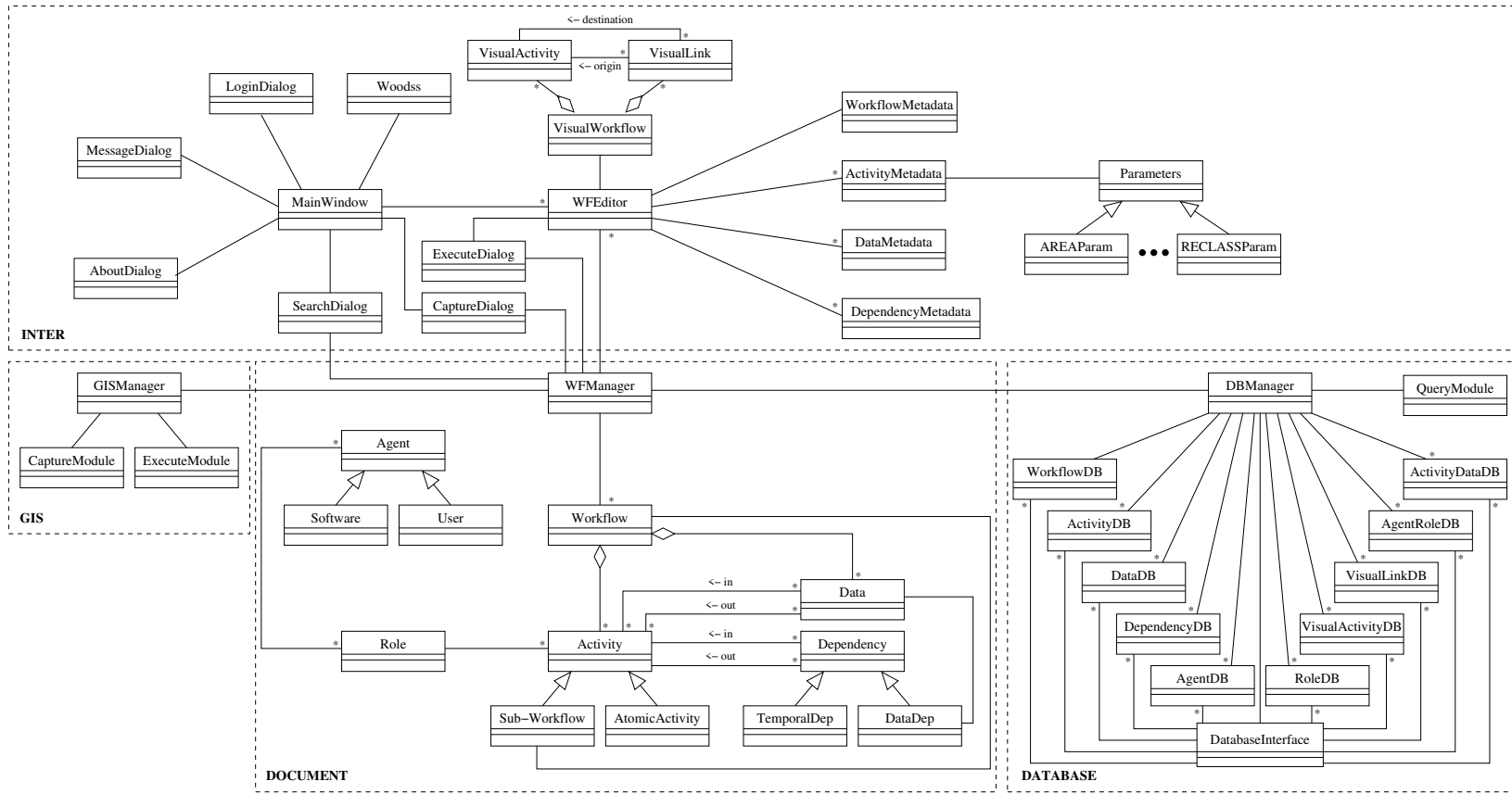


Figura 4.5: Diagrama de Classes proposto para o WOODSS.

4.3.2 Descrição dos Pacotes

Como pode ser observado na figura 4.5 as classes são agrupadas em quatro pacotes: DATABASE, GIS, INTER e DOCUMENTS (este pacote era chamado de CORE na versão de Kaster). Estes pacotes serão descritos a seguir, destacando as principais mudanças feitas com relação à versão de Kaster [Kas01].

Pacote DATABASE. Este é o pacote responsável pela comunicação do sistema com o banco de dados que armazena os *workflows*. A classe `DBManager` corresponde à interface do pacote e as classes com sufixo DB (como `WorkflowDB`, `ActivityDB`, `DataDB`, `DependencyDB`, entre outras) representam as tabelas existentes no banco de dados. A classe `DatabaseInterface` estabelece, efetivamente, a ponte entre o WOODSS e o SBGD, via JDBC (*Java Database Connectivity*), uma API Java padrão que fornece primitivas para execução de comandos SQL em um SGBD. A classe `QueryModule` implementa mecanismos de busca de *workflows*.

Pacote GIS. O pacote GIS realiza a interação do WOODSS com o SIG acoplado, traduzindo operações realizadas pelo usuário no SIG em *workflows* (captura) e vice-versa (execução). Esta versão do WOODSS interage somente com o SIG Idrisi. Entretanto, pela modelagem adotada, o acoplamento a outros SIG – que não o Idrisi – é facilitada, bastando para isso, a alteração do código das classes `CaptureModule` e `ExecuteModule` para as especificidades do novo SIG. Estas classes funcionam como um *driver* para um SIG em particular. A classe `CaptureModule` é responsável pela captura da interação do usuário com o SIG. Ela implementa um conjunto de métodos necessários para ler um arquivo de *log* do Idrisi e gerar o *workflow* científico correspondente. A classe `ExecuteModule` gera um arquivo de *macro* que reflete a estrutura do *workflow* que se deseja executar, ou seja, gera um conjunto de comandos executáveis no Idrisi a partir de um *workflow*. Os processos de captura e execução de *workflows* serão detalhados mais adiante, em seção específica.

Pacote INTER. Este pacote é composto pelas classes da interface com o usuário do sistema. Estas classes têm duas funções: apresentar os *workflows* e dados associados; e receber e responder a eventos do usuário. A classe `Woodss` é a classe de inicialização do sistema, que invoca a classe `MainWindow`, correspondente à janela principal do WOODSS.

As tarefas de apresentação e edição de *workflows* são gerenciadas pela classe `WfEditor`, em conjunto com as classes `VisualWorkflow`, `VisualActivity` e `VisualLink`, estas últimas responsáveis pelo desenho do *workflow* na tela. As classes `SearchDialog`, `CaptureDialog` e `ExecuteDialog` comandam, respectivamente, as solicitações de consultas ao banco de dados, captura e execução de *workflows*, interagindo (indiretamente, via `WfManager`) com os pacotes DATABASE e GIS.

Várias classes de interface foram criadas para permitir a edição de parâmetros de atividades. As janelas de edição de parâmetros representam os parâmetros de cada função do Idrisi que o WOODSS pode capturar. As classes `AREAParam` e `RECLASSParam` na figura 4.5 são exemplos de classes de janelas de edição de parâmetros das atividades do tipo `AREA` e `RECLASS` (funções do SIG Idrisi), respectivamente.

Outra novidade são os conceitos de **atividade completa** e **atividade incompleta**. Atividade incompleta é a atividade do *workflow* em que ao menos um parâmetro ainda não foi ajustado. Ela é exibida no grafo do *workflow* com uma coloração diferenciada para alertar o usuário desta situação. Embora o usuário possa optar por armazenar *workflows* com atividades incompletas, eles não podem ser executados. A existência de atividades incompletas no *workflow* impede a criação do arquivo de *macro* correspondente e, conseqüentemente, a execução do *workflow* no SIG subjacente.

Pacote DOCUMENTS. Este pacote visa o gerenciamento dos *workflows* em memória. Ele foi totalmente reestruturado e recodificado. Seu nome foi modificado (antes se chamava `CORE`) em função de que, no futuro, este pacote acomodará outros tipos de documentos, além dos *workflows*. Esta pesquisa é alvo do trabalho de Resende [Res03].

As classes deste pacote são responsáveis por manter em memória os *workflows* recuperados do banco de dados e por definir novos *workflows* a serem armazenados no banco de dados. A classe `WFManager` corresponde à interface do pacote e as demais classes compõem o conceito de *workflow* no sistema.

4.4 Esquema de Representação de *Workflows*

Um novo esquema de representação de *workflows* foi proposto, para suprir as deficiências apresentadas na versão anterior do WOODSS. A figura 4.6 apresenta o diagrama entidade-relacionamento para este novo esquema. Ele é baseado na proposta da WfMC [WfM], adaptado para atender as necessidades de documentação de etapas de planejamento ambiental.

A WfMC – *Workflow Management Coalition* – é uma organização internacional formada por empresas, usuários, analistas e grupos de pesquisa, preocupados em promover e desenvolver o uso de *workflows* através do estabelecimento de padrões para a terminologia de software, interoperabilidade e conectividade entre produtos de *workflow* [Fis02]. O meta-modelo de *workflow* proposto pela WfMC descreve as entidades utilizadas na definição de um processo, seus relacionamentos e atributos. A definição de um processo na forma prevista pelo meta-modelo permite a sua manipulação automatizada, incluindo a modelagem ou execução por um *Sistema Gerenciador de Workflows*.

Entretanto, o enfoque dado a *workflows* neste trabalho prioriza o seu uso para o

propósito de documentação. Isto exige o detalhamento de informações sobre o conteúdo do *workflow* que não aquelas relativas à sua execução, como informações de monitoramento ou sincronismo. Por esta razão, o esquema proposto aqui adapta o meta-modelo da WfMC nos seguintes aspectos: (1) Maior detalhamento de algumas entidades componentes do *workflow*, através de hierarquias de generalização/especialização (como no caso da entidade *dependência*) ou desmembramento em mais entidades (como no caso das entidades *papel e agente*); (2) Eliminação de redundâncias nos relacionamentos entre as entidades; (3) Remoção de elementos relativos exclusivamente à execução de *workflows*; e (4) Revisão da nomenclatura utilizada.

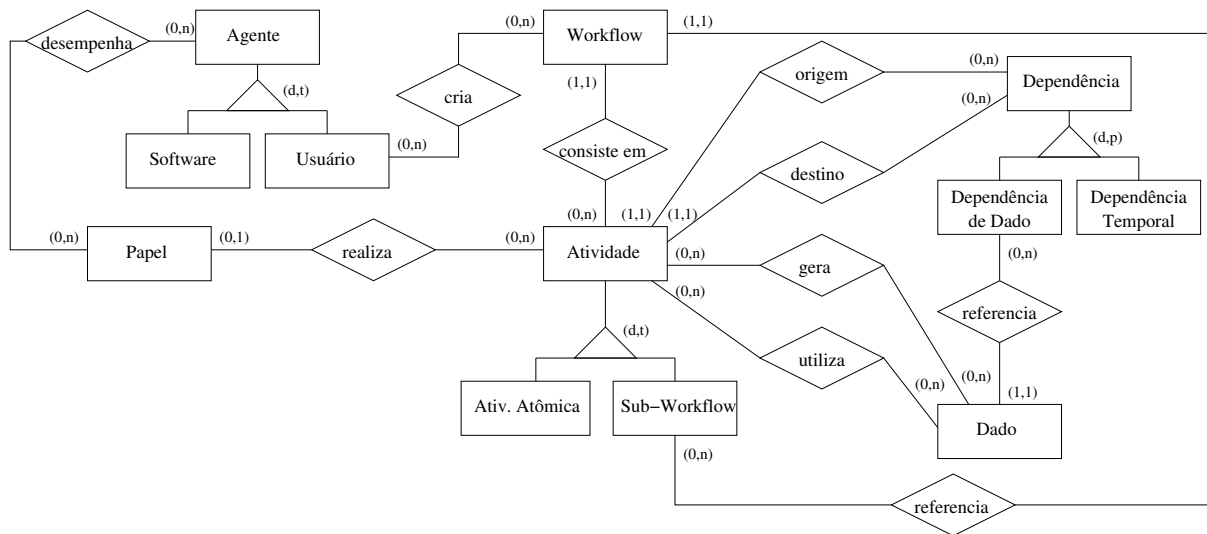


Figura 4.6: Esquema de representação proposto para *workflows*.

As entidades definidas na figura são as seguintes:

- **Workflow:** Descrição do *workflow* propriamente dito, o qual é formado por um conjunto de atividades interligadas, dados, papéis e agentes;
- **Atividade:** Unidade de trabalho a ser realizada. Pode ser uma atividade atômica ou um *sub-workflow*;
- **Atividade atômica:** Unidade de trabalho atômica;
- **Sub-workflow:** Atividade *dummy* que faz referência a outro *workflow* já armazenado no banco de dados. Este conceito facilita o reaproveitamento de especificações em novos projetos;

- **Dependência:** Interdependência entre duas atividades. Este trabalho considera dois tipos de dependência – dependência temporal e dependência de dados, mas outras podem ser adicionadas;
- **Dependência de dado:** Dependência entre duas atividades via dado. Uma atividade B depende de uma atividade A via dado se um dado de saída de A constitui um dado de entrada de B;
- **Dependência temporal:** Dependência entre duas atividades com relação ao tempo de execução. Se uma atividade B possui uma dependência temporal em relação a uma atividade A, a execução de B só pode ocorrer após o término da execução de A;
- **Dado:** Dado utilizado como entrada para o processamento de uma atividade ou resultado da execução de uma atividade;
- **Papel:** Descrição de um conjunto de agentes que podem executar uma atividade, ou seja, funcionalidade capaz de executar uma tarefa;
- **Agente:** Entidade de processamento que executa uma atividade. Um agente pode ser um **Usuário** ou um **Software**.

A utilização dessa nova representação de um *workflow*, exigiu a confecção de um novo esquema relacional para o banco de dados. Implicou, também, na redefinição e reimplementação da maioria das classes utilizadas para manipulá-lo, tanto em memória quanto no banco de dados. Note que, pela posição estratégica do módulo **Gerência WF** na arquitetura do WOODSS (vide figura 4.4), vários outros módulos que se comunicavam com este necessitaram também de ajustes para se adequarem à disposição imposta pela nova arquitetura.

4.5 Interligação com o Sistema de Informação Geográfica

O módulo de interligação com o SIG não existia na versão de Kaster e precisou ser totalmente implementado. Este módulo interage com o SIG Idrisi (versão Idrisi32).

O processo de captura das atividades realizadas pelo usuário no SIG é baseado na leitura de *logs*. No Idrisi, as interações do usuário são gravadas em um arquivo de *log*, onde cada linha corresponde a uma função do Idrisi ou a uma mensagem do sistema. No primeiro caso, a linha contém o nome da função executada e seus parâmetros. O módulo de interface com o SIG interpreta cada linha do arquivo de *log* e comanda, junto

à Gerência WF, a criação de uma atividade correspondente, seus dados de entrada e saída e seus parâmetros. Dessa maneira, é construído o *workflow* correspondente à seqüência de operações executadas pelo usuário no SIG.

A figura 4.7 ilustra a criação de uma atividade de *workflow* a partir de uma linha do arquivo de *log*. Na figura, a função executada no SIG é a função OVERLAY, utilizada para sobrepor mapas. Os nomes `slopes.rst`, `reservoirs.rst` e `slopes_and_reservoirs.rst` correspondem aos nomes dos dois arquivos de entrada da função e do arquivo resultante, nesta ordem. O parâmetro 3 indica que a operação utilizada para sobrepor os mapas `slopes.rst` e `reservoirs.rst` é a multiplicação e corresponde a um parâmetro que fica armazenado junto a atividade.

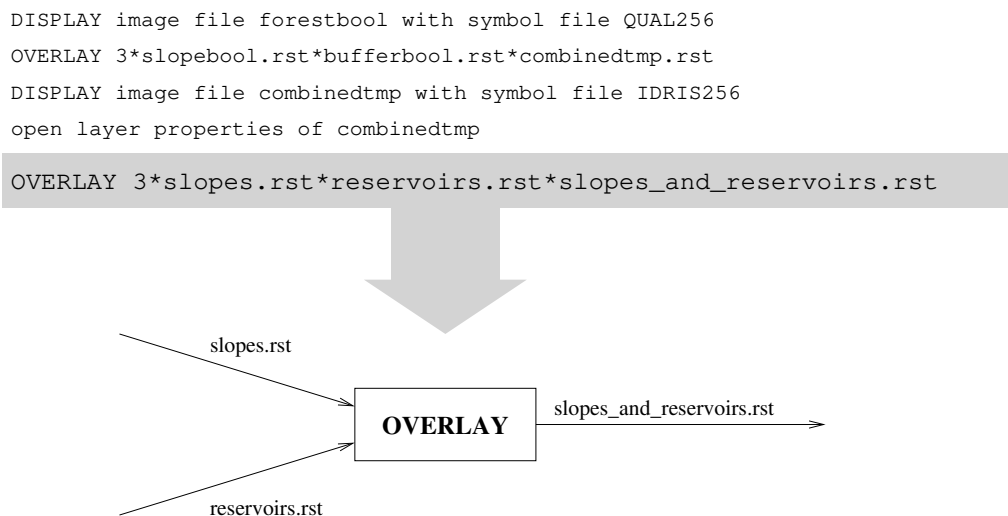


Figura 4.7: Criação de atividade de um *workflow* a partir do arquivo de *log* do Idrisi.

O processo de execução de um *workflow* no SIG ocorre de maneira inversa ao da captura. Cada atividade do *workflow*, com seus dados de entrada e saída, é convertida em uma linha de um arquivo similar ao *log*, na linguagem *macro* do Idrisi. Este arquivo de *macro* descreve a seqüência de operações que devem ser executadas no SIG, com seus respectivos parâmetros. A figura 4.8 ilustra a criação do arquivo de *macro* a partir de uma atividade de *workflow*. Note que, além das informações de qual função do SIG deve ser executada, e seus dados de entrada e saída, os parâmetros são imprescindíveis para a execução da atividade. Dessa forma, foi necessário codificar telas no WOODSS, similares às do SIG, que apoiem a entrada dos parâmetros da função (vide seção a seguir).

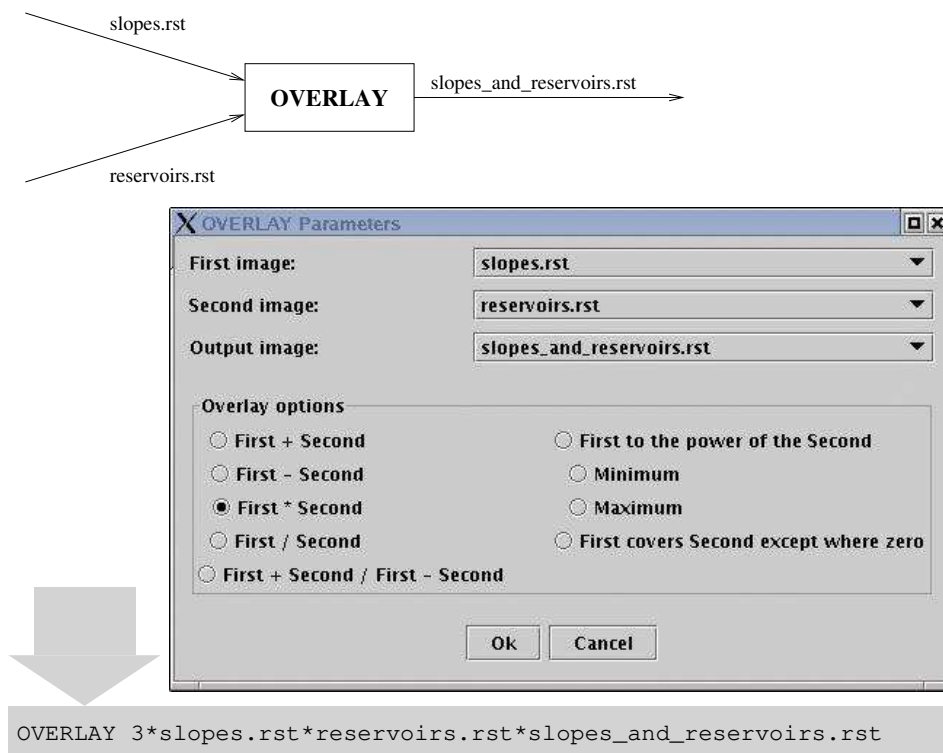


Figura 4.8: Geração do arquivo de *macro* a partir do *workflow*.

4.6 Interface do Usuário

A camada de interface com o usuário sofreu várias adaptações para se adequar à reestruturação dos demais módulos. Entretanto, sua estrutura permaneceu quase que totalmente fiel à implementada anteriormente. As grandes mudanças foram: (1) revisão das requisições de edição de *workflows*; (2) implementação de janelas de edição de parâmetros de atividades; e (3) edição de metadados.

As requisições de edição de *workflows* realizadas pelo usuário eram traduzidas pela interface para o esquema antigo de representação de *workflows*. Neste esquema, cada objeto visual (retângulos e setas) estava diretamente ligado (através de uma referência explícita) ao objeto conceitual correspondente, armazenado no banco de dados. Com a substituição do esquema de representação de *workflows* e a adição da classe `WFManager` - responsável por canalizar as requisições de edição de *workflows* - o processo de edição de *workflow* precisou ser revisto. Os objetos visuais deixaram de referenciar explicitamente os objetos conceituais e a edição de *workflows* foi centralizada na classe `WFEditor`, que se comunica diretamente com a classe `WFManager` (vide figura 4.5). Estas medidas permiti-

ram a separação da representação do conceito de *workflow* de sua representação gráfica para o usuário.

A nova interface provê a criação de janelas de edição de parâmetros para as atividades de um *workflow*, indispensável para a execução apropriada do *workflow* no SIG. Como os parâmetros são peculiares à função do SIG, para cada função passível de execução, uma janela com seus respectivos parâmetros deve ser criada. Nesta implementação, um conjunto inicial de 12 janelas foram criadas para as funções mais utilizadas do Idrisi (AREA, CONTOUR, SCALAR, GROUP, DISTANCE, BUFFER, SURFACE, RECLASS, OVERLAY, ORTHO, ASSIGN, CROSTAB). Para tornar o sistema mais amigável a usuários do Idrisi, as janelas de edição de parâmetros seguem, quando possível, o padrão de interface desse SIG. No futuro, quando o WOODSS puder se comunicar com outros SIG, as janelas de edição de parâmetros devem sofrer alterações para contemplarem os parâmetros das operações comuns aos vários SIG, sob pena de prejudicar a portabilidade do sistema. A figura 4.9 ilustra o exemplo de uma janela de edição de parâmetros para a função RECLASS do SIG Idrisi.

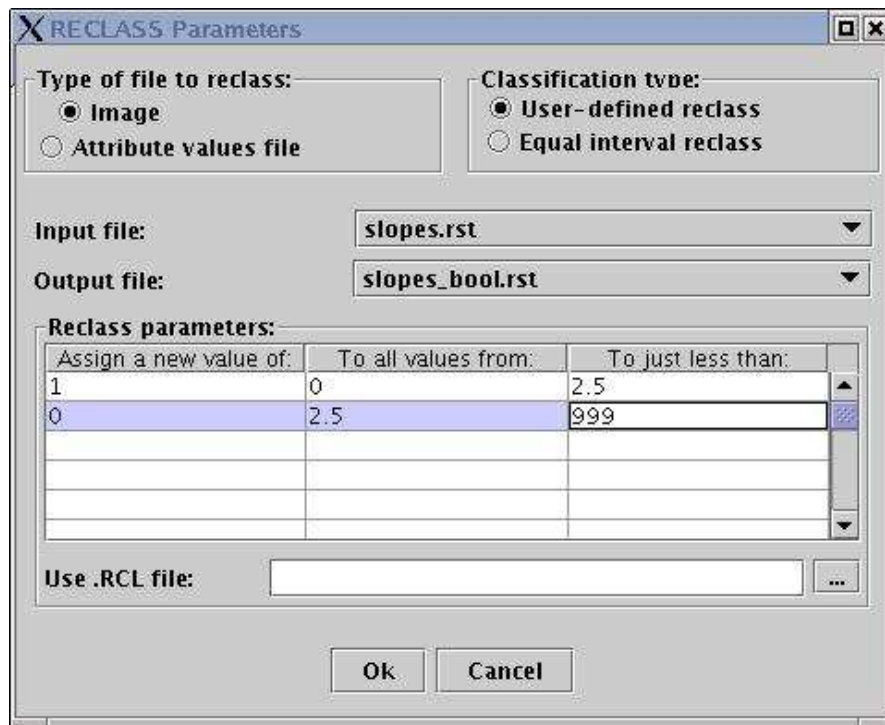


Figura 4.9: Janela de edição dos parâmetros da função RECLASS.

4.7 Resumo

Este capítulo descreveu o processo de reengenharia e reimplementação do WOODSS para torná-lo mais aberto e modular. Foram apresentadas as novas Arquitetura e Diagrama de Classes implementados e as modificações representadas por eles. As modificações incluem a noção do conceito de gerência, a substituição do esquema de representação de *workflows*, a implementação do módulo de interligação com o SIG e adaptações na interface do sistema com o usuário.

O próximo capítulo apresenta o projeto para o acoplamento dos metadados propostos nesta dissertação aos *workflows* do WOODSS.

Capítulo 5

Acoplando Metadados ao WOODSS

Este capítulo apresenta a solução proposta para adição de metadados ao sistema WOODSS. Esta solução consiste na especificação de classes nos pacotes de documento, banco de dados e interface do usuário, estendendo a implementação descrita no capítulo anterior.

O capítulo está organizado da seguinte maneira: a seção 5.1 descreve os requisitos funcionais que devem ser satisfeitos no tocante aos metadados; a seção 5.2 apresenta a estrutura proposta para suportar a manipulação de metadados no WOODSS; a seção 5.3 descreve os tipos de consultas que serão co-suportadas com a implementação dos metadados e também como serão processadas as consultas no sistema; a seção 5.4 descreve as adaptações necessárias à interface do usuário para suportar a edição dos metadados e busca de *workflows* baseada nestes metadados; por fim, a seção 5.5 apresenta o resumo do capítulo.

5.1 Levantamento de Requisitos Funcionais

Inicialmente, é preciso determinar os requisitos funcionais do sistema, visando a utilização dos metadados. Estes requisitos indicarão as mudanças necessárias ao sistema para integrar os metadados. Basicamente, há duas atividades principais relacionadas aos metadados:

- **Edição de Metadados** – Representa as tarefas de manipulação básica dos metadados, como inserção, atualização e remoção;
- **Busca de *Workflows* baseada em Metadados** – Consiste na busca de *workflows* baseada nas informações fornecidas pelos metadados associados. É dividida em *consulta aos metadados* e posterior *recuperação do(s) workflow(s)* que se encontra(m) associado(s) aos metadados selecionados no passo anterior.

A figura 5.1 ilustra os requisitos de edição e busca, através de um diagrama de casos de uso. Observe que a busca de *workflows* baseada em metadados inclui a consulta aos metadados e, opcionalmente, a recuperação dos *workflows* associados, vinculada à satisfação do usuário quanto ao resultado da consulta.

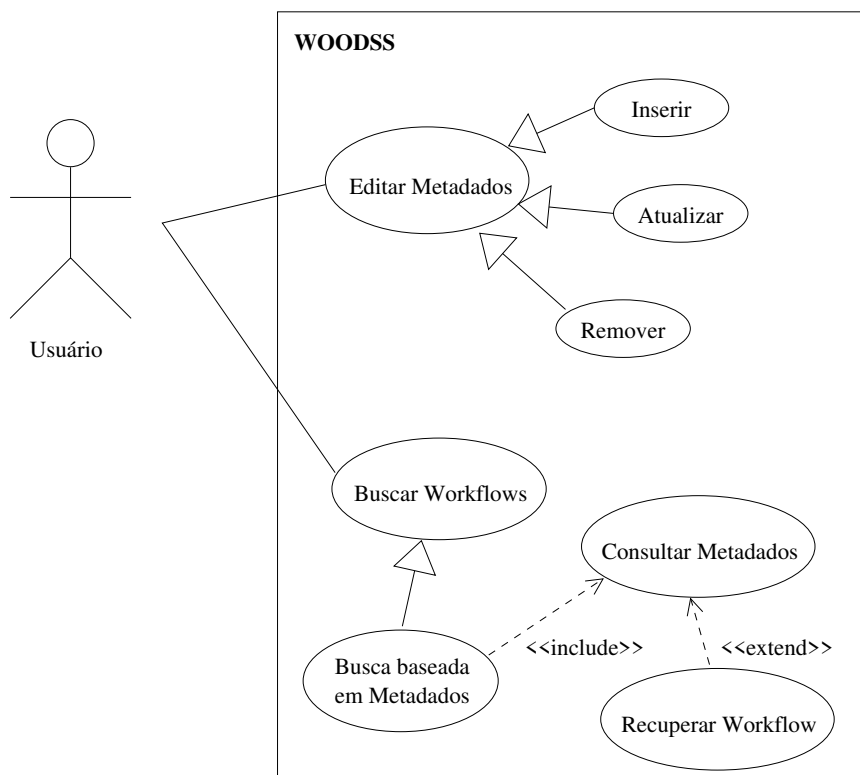


Figura 5.1: Diagrama de Casos de Uso envolvendo a utilização de metadados.

A consulta aos metadados tem duas abordagens possíveis. A primeira considera busca por palavra chave baseada em igualdade de campo. Neste caso, recai-se na situação em que metadados são restritos a palavras chave, indexadas em estruturas padrão como árvores B. Este tipo de busca não apresenta desafios do ponto de vista de processamento mas, por outro lado, dificulta o trabalho do usuário em identificar os *workflows* de interesse.

A segunda abordagem corresponde à busca em texto (campos de metadados) usando mecanismos de recuperação de informação [BYRN99]. Esta segunda solução é o oposto da anterior: é mais difícil de implementar, porém mais flexível do ponto de vista do usuário. A solução proposta aqui é intermediária: aproveitar a semântica de tipos de atributos do padrão proposto, direcionando o usuário a formular consultas através de campos a serem preenchidos em formulários. Desta forma, a busca textual é dirigida por cada tipo de

metadado e não a todo o conjunto de metadados armazenado.

A implementação do conjunto de metadados no sistema WOODSS implica na especificação e implementação de: (1) infra-estrutura básica que dará suporte à manipulação de metadados; (2) mecanismo de busca baseada nos metadados propostos; e (3) adaptações na interface do usuário. Isto exige acrescentar classes não apenas aos pacotes `DATABASE` e `DOCUMENTS`, mas também ao pacote `INTER`, para apresentação de conjuntos de janelas de metadados especializadas por tipo de componente do *workflow*.

A figura 5.2 mostra que para atingir os requisitos especificados, é necessário acrescentar classes específicas nos pacotes `INTER` (para edição e consulta), `DOCUMENTS` e `DATABASE`.

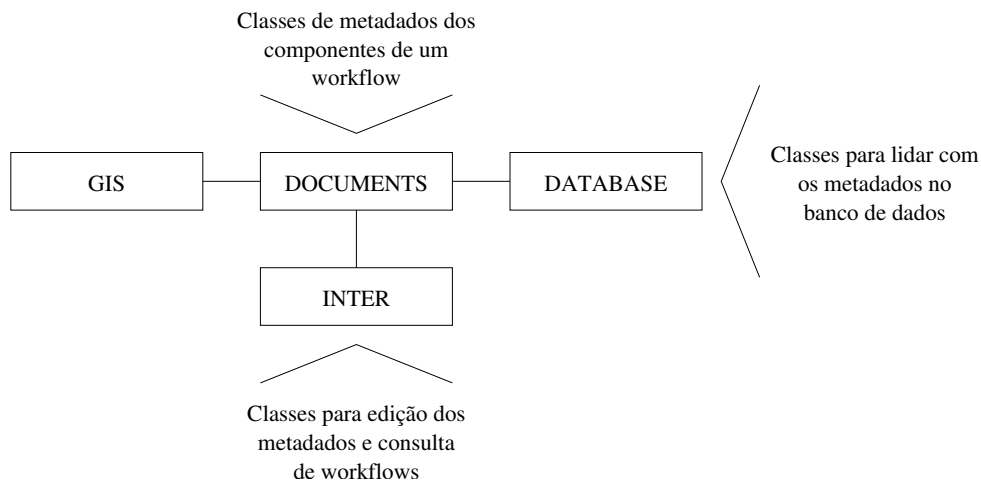


Figura 5.2: Pacotes que devem receber novas classes para manipulação de metadados.

5.2 Suporte para Metadados

5.2.1 Especificação de Classes

O suporte para metadados no sistema WOODSS consiste na integração do padrão de metadados aos *workflows*. Entretanto, tal integração esbarra em um ponto: o padrão de metadados proposto utiliza um determinado conjunto de conceitos mas os componentes de um *workflow* não são diretamente mapeados em tais conceitos.

Em outras palavras, o padrão de metadados consiste em um conjunto de atributos agrupados de acordo com classificação semântica, e não de acordo com a entidade do *workflow* à qual se associam (*workflow*, atividade, dado e dependência). A figura 5.3

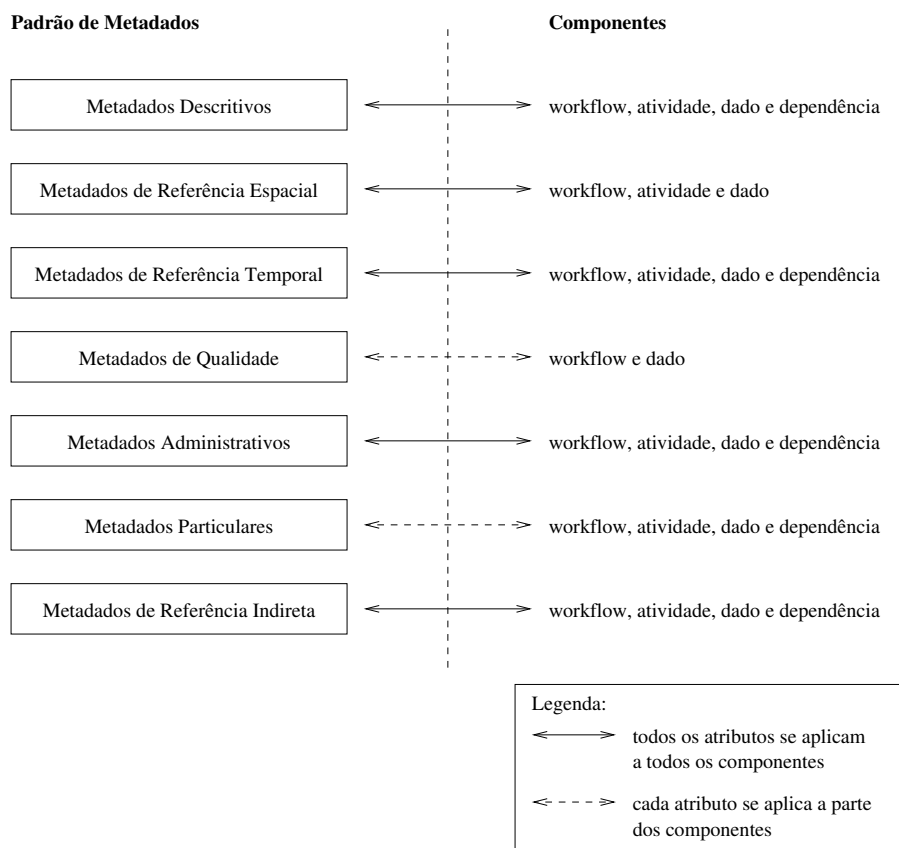


Figura 5.3: Relacionamento entre o padrão de metadados proposto e os componentes de um *workflow*.

apresenta os grupos de atributos do padrão de metadados proposto e os componentes do *workflow* aos quais se aplicam.

A figura mostra, por exemplo, que todos os atributos de metadados descritivos se aplicam indistintamente a todos os componentes – *workflow*, atividade, dado e dependência. A figura também mostra que nem todos os dez atributos de metadados de qualidade se aplicam aos componentes *workflow* e dado, simultaneamente. Em particular, oito destes atributos se aplicam a dados e os outros dois apenas a *workflow*. A situação se complica ainda mais para os metadados particulares, onde a relação atributo-componente do *workflow* é mais diversificada.

Dois alternativas para contornar esse obstáculo podem ser levantadas: (1) reclassificar os atributos segundo as entidades às quais se aplicam; ou (2) criar uma estrutura que se comporte como uma interface entre as duas visões (metadados por tipo e componentes de *workflow*).

A primeira alternativa apresenta a vantagem de ser facilmente mapeada para um diagrama de classes. Esta alternativa corresponderia a criação de uma classe para cada componente de um *workflow*, que encapsularia todos os atributos do padrão de metadados previstos para aquele componente. Entretanto, a grande desvantagem dessa abordagem é a redundância de atributos. Considere, por exemplo, o grupo de atributos descritivos: todos os atributos deste grupo se aplicam a todas as entidades de um *workflow*. Assim, os atributos necessitariam ser replicados para todas as entidades, dificultando sua manutenção e contrariando o agrupamento semântico explicitado pelo padrão de metadados proposto.

A segunda alternativa, aqui adotada, é mais viável e fiel ao padrão proposto, apesar de implicar na definição de uma estrutura mais complexa. Consiste na criação de quatro classes, uma para cada componente do *workflow*. Cada uma destas classes encapsula o conjunto de metadados que corresponde ao respectivo componente.

A figura 5.4 mostra a extensão proposta ao diagrama de classes do WOODSS para suportar a manipulação de metadados em memória. As classes em destaque (*Workflow*, *Activity*, *Data* e *Dependency*) pertencem ao diagrama original. As classes *WorkflowMetadata*, *ActivityMetadata*, *DataMetadata* e *DependencyMetadata* são compostas pelos grupos de atributos adequados, de acordo com a definição do padrão de metadados proposto. Note que a figura contempla apenas seis das sete classes propostas de metadados, faltando a classe de metadados particulares. Seus atributos foram incorporados às classes *WorkflowMetadata*, *ActivityMetadata*, *DataMetadata* e *DependencyMetadata* devido às peculiaridades dos metadados particulares. A classe *QualityMetadata* especializa-se em duas subclasses, *WorkflowQualityMetadata* e *DataQualityMetadata*, por apresentar atributos que se aplicam a *workflow* e dado, não simultaneamente.

5.2.2 Persistência

Outro aspecto a se considerar é a persistência dos metadados. As mudanças sobre os metadados devem ser refletidas no banco de dados. Para tanto, é necessária a alteração do esquema do banco de dados para acomodar os conceitos de metadados.

Basicamente, o esquema do banco de dados deve receber 7 novas relações principais: *DescriptiveMetadata*, *SpatialMetadata*, *TemporalMetadata*, *WorkflowQualityMetadata*, *DataQualityMetadata*, *AdministrativeMetadata* e *ReferenceMetadata*. Deve-se, igualmente, modificar as relações que armazenam os componentes de *workflow* para incorporar os atributos de metadados particulares. Além disso, devem ser criadas várias outras relações para acomodar atributos compostos e/ou multivalorados.

Os trechos de código a seguir ilustram as seguintes declarações: (1) relação dos metadados descritivos; (2) relação de *workflows* modificada para acomodar os metadados

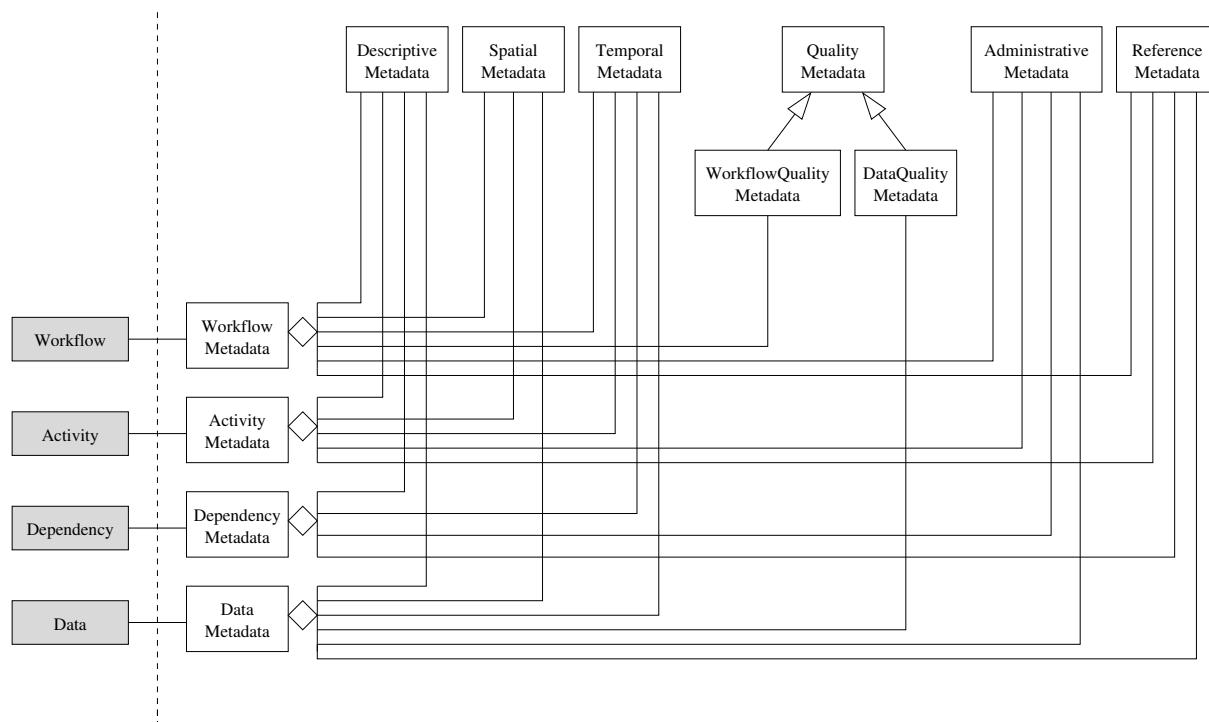


Figura 5.4: Extensão proposta ao diagrama de classes do WOODSS para suportar a manipulação de metadados.

particulares de *workflow* e (3) algumas relações auxiliares, criadas para solucionar problemas de atributos multivalorados.

(1)

```
CREATE TABLE DescriptiveMetadata (
  id_descriptive_metadata    NUMBER (PK),
  title                      TEXT NOT NULL,
  description                TEXT,
  publisher                  TEXT,
  creation_date              DATE NOT NULL,
  keywords                   TEXT );
```

(2)

```
CREATE TABLE Workflow (
  id_workflow                NUMBER (PK),
  methodology_strategies    TEXT,
```

```

variables          TEXT,
directives         TEXT,
preconditions      TEXT,
postconditions     TEXT,
cost               TEXT,
state              ENUM(complete, incomplete) NOT NULL,
id_workflow_quality NUMBER (FK),
id_descriptive_metadata NUMBER (FK) NOT NULL,
id_spatial_metadata NUMBER (FK) );

```

(3)

```

CREATE TABLE Exception (
  id_exception      NUMBER (PK),
  exception         TEXT,
  reaction          TEXT,
  id_workflow       NUMBER (FK Workflow),
  id_activity       NUMBER (FK Activity) );

```

```

CREATE TABLE Monitor (
  id_monitor       NUMBER (PK),
  revision_date    DATE,
  observation      TEXT,
  id_workflow      NUMBER (FK Workflow) NOT NULL );

```

A tabela *Exception* armazena dados sobre exceções e procedimentos para seu tratamento (*reaction*). A tabela *Monitor* permite armazenar registros sobre o monitoramento de um plano. Elas são casos típicos de estruturas adicionais que precisam ser criadas para acomodar atributos multivalorados e/ou compostos de metadados. Por exemplo, podem haver várias exceções durante a execução de um único *workflow*. Portanto, é necessário armazenar os metadados associados à parte. O mesmo se aplica a *Monitor*, pois vários registros podem ser associados ao monitoramento de um plano.

O anexo contém o diagrama entidade-relacionamento do banco de dados e a especificação do seu esquema.

5.3 Consultas de *Workflows*

A associação do padrão de metadados proposto ao sistema WOODSS fornece o suporte para uma grande variedade de consultas relevantes em processos de planejamento am-

biental. Estas consultas são realizadas via uma interface gráfica (vide seção 5.4). São, a seguir traduzidos para execução no banco de dados, cujo esquema está no anexo. A seção 5.3.1 apresenta alguns dos tipos de consultas possíveis; a seção 5.3.2 descreve o cenário típico de busca, com processamento descrito por um diagrama de seqüência; e a seção 5.3.3 ilustra como o sistema traduz as consultas do usuário para consultas no banco de dados subjacente.

5.3.1 Tipos de Consultas

Para ilustrar a abrangência das consultas que podem ser realizadas baseadas no padrão de metadados proposto, considere os seguintes exemplos de tipos de consultas:

- **Consultas envolvendo descrição** – São consultas sobre os atributos básicos de descrição. Para exemplificar, considere a situação de *avaliação de impactos de erosão*. Consultas que integram autor e descrição podem retornar o histórico de planos que versam sobre avaliação de impactos de erosão elaborados por algum especialista. Dados como esses podem servir para auxiliar planejadores menos experientes ou até a extração de diretivas utilizadas para se elaborar um bom plano;
- **Consultas envolvendo localização** – Estas consultas envolvem predicados sobre atributos espaciais. Consultas dessa natureza possibilitam, por exemplo, identificar planos elaborados para uma determinada região, permitindo avaliar a intensidade dos investimentos na área, ou mesmo a eficácia da implementação dos planos quando comparados à realidade atual da região em estudo;
- **Consultas envolvendo tempo** – Consultas desse tipo permitem recuperar planos baseados em sua validade. Razões que levam à expiração da validade podem incluir a mudança de legislação vigente, descoberta de novas técnicas ou até a realização de um novo plano para a região. Estas informações podem ser úteis para se avaliar, por exemplo, a evolução de técnicas utilizadas para a solução de um dado problema;
- **Consultas envolvendo qualidade** – Este tipo de consulta pode apresentar informações importantes sobre o grau de qualidade de um determinado plano ou dos dados nele utilizados. Consultas típicas podem recuperar técnicas específicas em função de níveis de qualidade diferentes de dados ou mesmo a correlação de técnicas utilizadas e a qualidade do resultado final;
- **Outras consultas** – Inúmeras outras consultas podem ser especificadas, incluindo a pesquisa por restrições sobre planejamentos, recursos utilizados e custos associados, entre outros. Adicionalmente, o usuário ainda pode fazer consultas cruzadas

utilizando vários atributos. A informação de vários atributos em uma consulta facilita a localização/recuperação de *workflows* mais específicos ao propósito do usuário. Cada restrição imposta pela consulta limita o espaço de busca dentro do banco de dados, eliminando *workflows* que não se enquadram nos critérios estabelecidos pelo usuário.

5.3.2 Cenário de Busca

A estrutura proposta para integrar os metadados ao WOODSS fornece o suporte necessário para a realização de consultas complexas, como apresentado na seção anterior. O mecanismo de busca deve utilizar a estrutura através de um fluxo de eventos apropriado, iniciando pela entrada de dados do usuário até a provável recuperação do *workflow* de seu interesse.

A figura 5.5 traz um diagrama de seqüência simplificado que ilustra o cenário típico de busca de *workflows* a partir de metadados. Na figura, as classes `MainWindow` e `SearchDialog` pertencem à camada de Interface do usuário e são responsáveis por coletar dados e apresentar as respostas oriundas do sistema. As classes `WFManager` e `DBManager` lidam, respectivamente, com o conceito de *workflow* dentro do WOODSS e o controle do banco de dados do sistema.

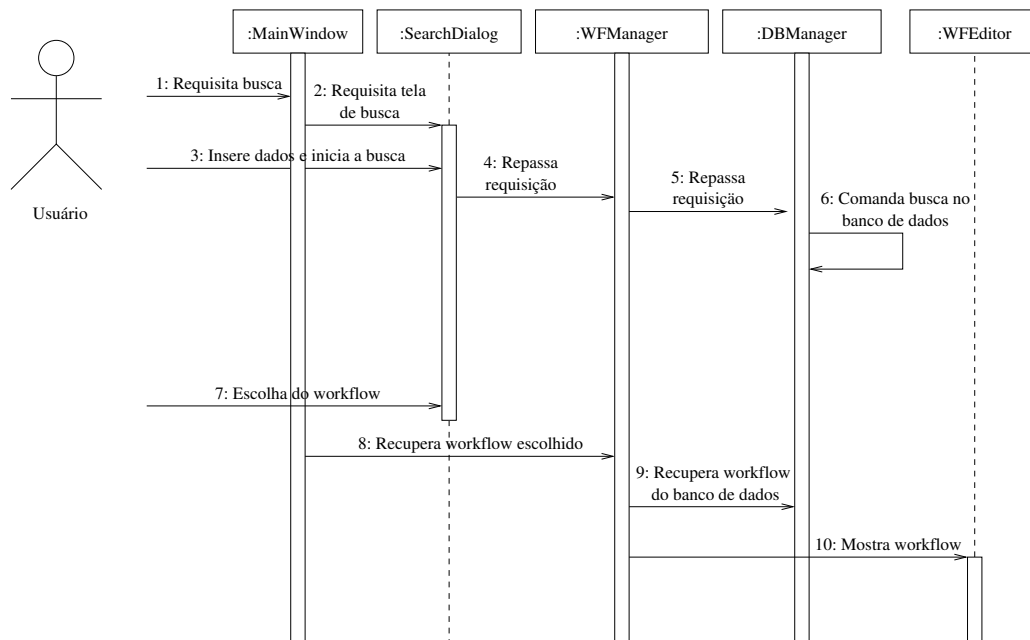


Figura 5.5: Diagrama de Seqüência para um cenário de busca de *workflows*.

5.3.3 Execução de Consultas

A consulta por *workflows* inicia-se com a entrada de dados pelo usuário. Esta entrada de dados deve ser feita através de formulários que apresentam uma relação de campos que correspondem aos atributos de um *workflow* e seus componentes. A recuperação de *workflows*, ou de algum de seus componentes, parte da premissa de que o interesse do usuário está direcionado para os elementos armazenados no banco de dados que apresentem valores de atributos que incluam os valores preenchidos nos campos do formulário de consulta.

Para isto, a consulta deve ser implementada usando o construtor LIKE de SQL. Esta comparação é executada pelo SGBD no banco de dados e leva em consideração todos os elementos armazenados. A ponte entre o sistema e o banco de dados é o módulo de Interface com o Banco de Dados. Este módulo recebe os pares (atributo, valor de atributo) fornecidos pelo usuário, através do formulário de consulta, e informações adicionais, como: conectivos (e, ou, não), tipos escolhidos de elementos no conjunto resposta (*workflows*, atividades, dados ou dependências), entre outros. Estas informações são reunidas e passam por um processo de construção da consulta do banco de dados, na linguagem de consulta SQL.

Para exemplificar, considere a seguinte consulta que utiliza o problema de aptidão descrito no capítulo 3: *“Recuperar os workflows que representem estratégias de avaliação de aptidão para instalação de aterro sanitário desenvolvidas no ano de 2002”*. Muito provavelmente, para representar essa consulta, o usuário preencheria o campo `title` com as palavras “aptidão” e “aterro sanitário” e o campo `data` com o período “01/01/2002–31/12/2002”. Esta consulta envolve a avaliação de dois predicados e pode ser traduzida para SQL como segue:

```
SELECT id_workflow, title, description
FROM Workflow W, DescriptiveMetadata D
WHERE W.id_descriptive_metadata = D.id_descriptive_metadata AND
      D.creation_date BETWEEN '01/01/2000' AND '31/12/2000' AND
      (title LIKE '%aptidão%' AND
       title LIKE '%aterro sanitário%');
```

Consultas mais sofisticadas podem ser feitas a partir da diversidade de atributos do padrão de metadados. Outro exemplo de consulta é: *“Recuperar os workflows que representem estratégias de zoneamento de aptidão de terras para o cultivo de trigo em propriedades menores que 10.000m² e ainda, que utilizaram aparelhos de GPS em alguma de suas atividades”*. Provavelmente, na janela de consulta, o usuário procuraria por “trigo” e “aptidão” em `title` e “gps” em `resources`. Traduzindo para SQL, esta consulta seria:

```

SELECT  id_workflow, title, description
FROM Workflow W, DescriptiveMetadata D, SpatialMetadata S
WHERE   W.id_descriptive_metadata = D.id_descriptive_metadata AND
        W.id_spatial_metadata = S.id_spatial_metadata AND
        S.extension <= 10000 AND
        (title LIKE '%aptidão%' AND
         title LIKE '%trigo%') AND
        EXISTS (SELECT id_activity
                 FROM Activity A, Resources R
                 WHERE A.id_workflow = W.id_workflow AND
                       R.id_activity = A.id_activity AND
                       R.name LIKE '%GPS%');

```

A próxima seção descreve a proposta de interface do usuário para formulação de busca, exemplificando com a primeira consulta das duas apresentadas nesta seção.

5.4 Adaptações na Interface

Com a introdução da estrutura que suportará a manipulação dos metadados e as buscas também baseadas em metadados, a interface com o usuário deve sofrer algumas adaptações. Estruturalmente, o WOODSS já apresenta classes de interface para lidar com metadados. Entretanto, essas classes estão preparadas para um conjunto restrito de atributos, limitando-se a apresentar atributos básicos de descrição e parâmetros de execução de atividades no SIG. A mesma limitação se estende para as classes que lidam com a busca de *workflows*. Na maior parte dos casos, as buscas são realizadas apenas sobre os atributos *Título* e *Descrição* dos *workflows*.

Dessa forma, é necessário redefinir essas classes para contemplarem a totalidade dos atributos propostos no padrão de metadados. A figura 5.6 apresenta as classes que lidam com a edição e busca baseada em metadados. As classes `WorkflowMetadata`, `ActivityMetadata`, `DataMetadata` e `DependencyMetadata` modelam as janelas de edição de metadados. Estas janelas são requisitadas no momento em que o usuário constrói um *workflow*, devendo por isso, serem associadas à classe `WEditor`. A classe `SearchDialog` é a interface para o usuário comandar a busca de *workflows* no banco de dados.

A figura 5.7 apresenta a tela proposta para a edição de metadados. Esta figura mostra, em especial, a janela para a edição dos metadados de um *workflow*. As telas para os metadados dos demais componentes de um *workflow* seguem essa mesma linha, diferindo no número e escolha dos atributos.

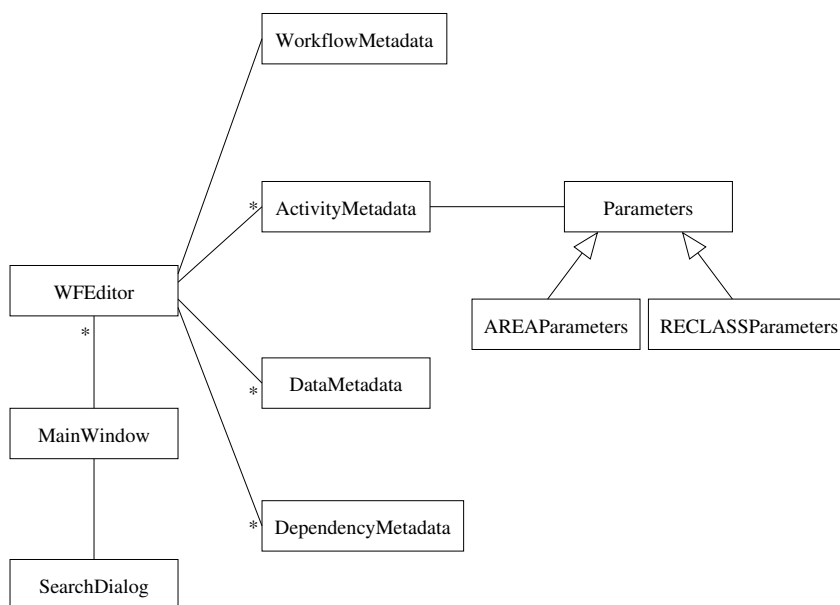


Figura 5.6: Classes do pacote INTER que lidam com a edição e busca baseada em metadados no WOODSS.

A figura 5.8 mostra o *layout* da janela para buscas de *workflows* baseada em metadados. Ela apresenta a realização da busca exemplificada na seção 5.3.3. A janela de busca é dividida em 3 regiões principais: (1) construção de cláusulas; (2) montagem da expressão de consulta; e (3) grade de resultados.

A construção de cláusulas é feita através da seleção de um ou mais objetos, uma ou mais categorias de metadados, um atributo pertencente à categoria selecionada, um operador e o valor de comparação. A junção desses parâmetros compõe uma condição que pode ser interligada a outras através de conectivos (AND e OR), formando uma expressão de consulta. A expressão de consulta é apresentada em linguagem declarativa onde um atributo, por exemplo, é referenciado da maneira `< objeto > . < categoria – metadados > . < atributo >` (ex. `Workflow.Descriptive.Title`). Os qualificadores ANY, ALL e EXPRESSION indicam que a comparação expressa por uma condição deve considerar qualquer, todas ou a expressão exata digitada pelo usuário, nesta ordem. Após a construção da expressão de consulta, o usuário comanda a busca no banco de dados. Os *workflows* que satisfizerem as condições impostas pelo usuário são apresentados na grade de resultados.

O usuário ainda tem a opção de testar novas condições sobre o conjunto resposta retornado por consultas anteriores. Essa funcionalidade permite o refinamento da consulta até atingir o conjunto resposta de interesse do usuário.

A busca de *workflows* através da construção de uma expressão de consulta em linguagem declarativa mostra-se especialmente adequada para o caso do WOODSS. Através de uma interface relativamente simples, o usuário pode fazer consultas complexas que envolvam vários atributos, ao passo que se a interface tivesse que apresentar os mais de 50 atributos que compõem o padrão de metadados, a execução de uma consulta mais elaborada se tornaria praticamente inviável.

5.5 Resumo

Este capítulo apresentou a proposta de solução para a incorporação de metadados ao WOODSS. Essa proposta baseou-se na utilização do padrão de metadados proposto no capítulo 3 e indicou as mudanças necessárias ao WOODSS para suportar as tarefas de edição de metadados e busca de *workflows* baseada em metadados. O capítulo foi centrado em requisitos funcionais, mas requisitos não funcionais seriam também muito importantes (usabilidade, eficiência, portabilidade, entre outros).

O próximo capítulo encerra esta dissertação apresentando as conclusões deste trabalho e futuras extensões.

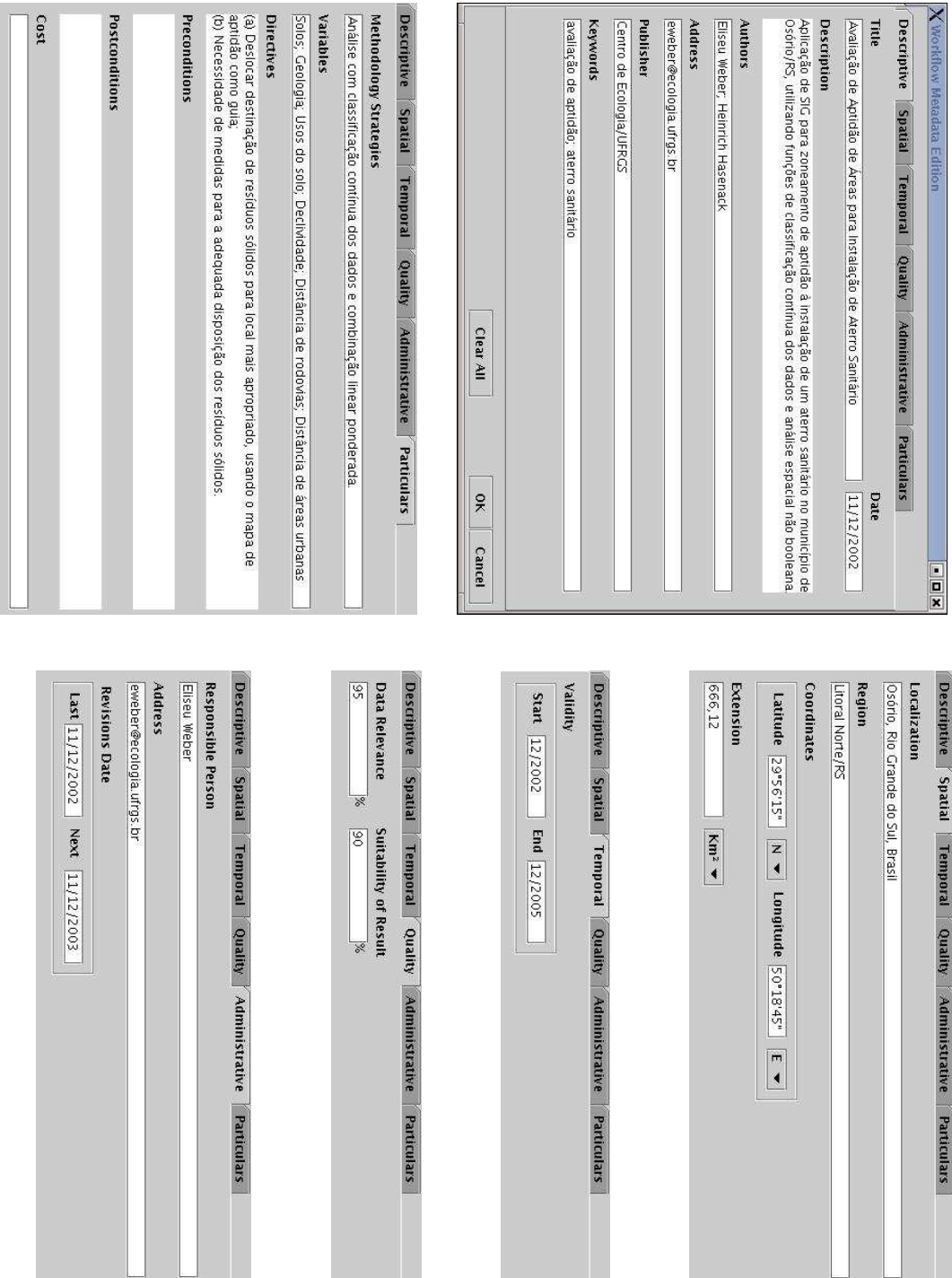


Figura 5.7: Janela de edição de metadados de um *workflow*

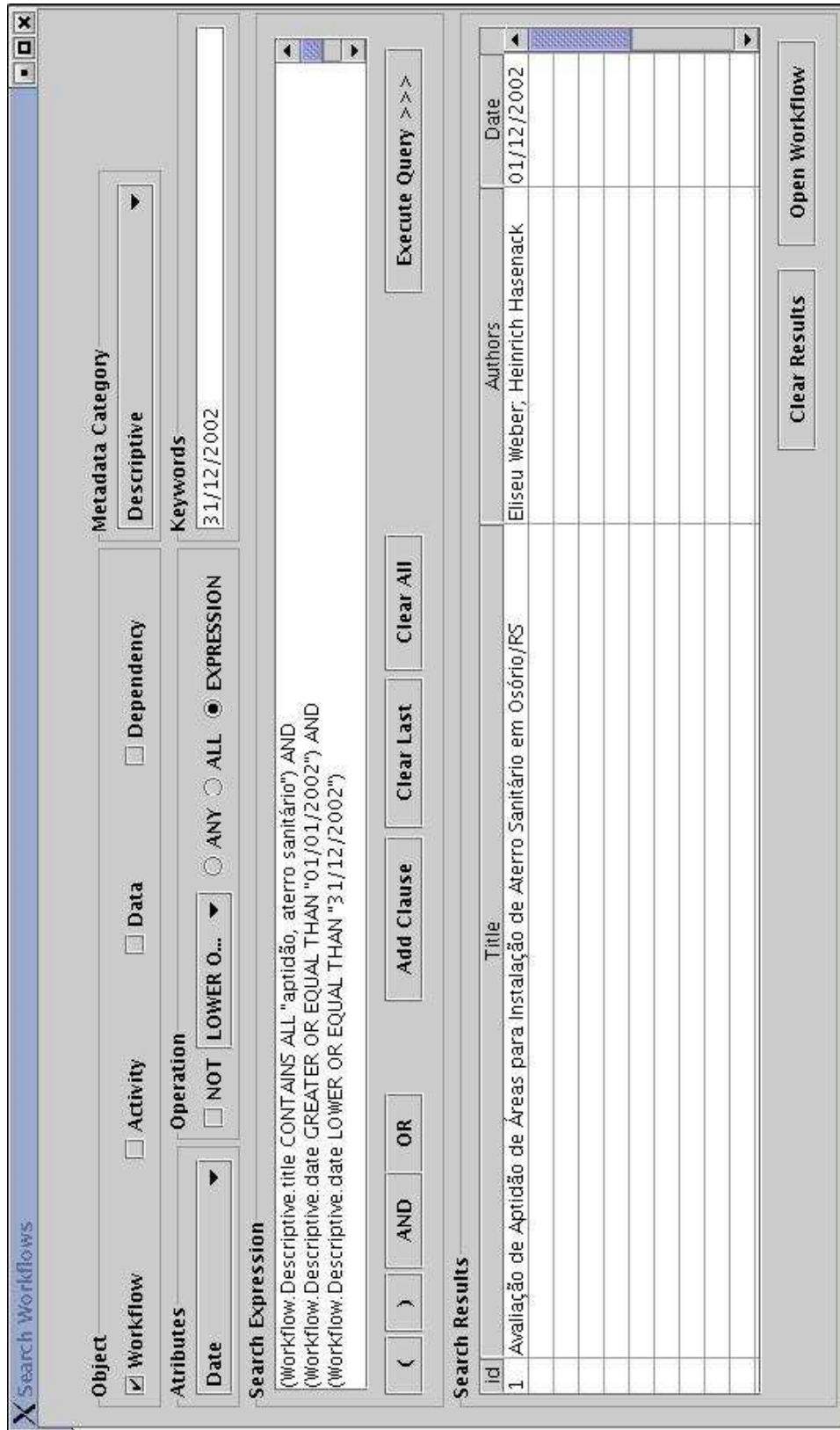


Figura 5.8: Janela de consulta de workflows baseada em metadados.

Capítulo 6

Conclusões e Extensões

6.1 Contribuições

Esta dissertação concentrou-se em especificar um padrão de metadados que, associados a *workflows* científicos, possam documentar atividades de planejamento ambiental. O problema da falta de documentação é crítico no domínio ambiental, principalmente por empregar uma variedade de especialistas, uma grande quantidade de variáveis a serem analisadas e também pela singularidade dos problemas que devem ser resolvidos, requerendo soluções, em sua grande maioria, baseadas na experiência individual dos especialistas envolvidos.

A representação do conjunto de passos executados durante a confecção de um plano ambiental, através de *workflows* científicos, denota o esforço em se resolver problemas de documentação neste domínio. A proposta do padrão de metadados especificado é permitir ao especialista consultar e recuperar, dentre as estratégias documentadas (representadas por um repositório de *workflows*), aquelas mais adequadas, ou pelo menos mais próximas, de resolver novos problemas similares.

O trabalho iniciou-se pelo estudo das atividades de planejamento ambiental. Foram levantados os requisitos de documentação do domínio ambiental baseados, em grande parte, na metodologia de desenvolvimento de aplicações ambientais proposta por Pires [Pir97]. A etapa seguinte consistiu em estudar padrões de metadados existentes que pudessem estar relacionados, de alguma forma, a *workflows*, dados geográficos ou planejamento ambiental.

Um novo padrão de metadados foi proposto, a partir do levantamento de requisitos e estudo dos padrões de metadados existentes. Além disso, foram observadas também a maior parte das considerações propostas por [IW97] (vide seção 3.2) para padrões de metadados, como: extensibilidade, consistência, armazenamento e acesso. As demais considerações, incluindo a integração de padrões e questões de internacionalização, merecem

um estudo à parte e, por essa razão, são propostas como extensões desta dissertação.

O padrão de metadados proposto, associado aos *workflows* científicos, permitem a documentação efetiva de atividades de planejamento ambiental. O padrão de metadados proposto aproveita características de alguns padrões existentes, como: *Dublin Core* [WMD95] (atributos para descrição básica), FGDC [fgd98] (atributos para documentação de dados geográficos) e da Hierarquia de Classes de Gonçalves [Gon97] (organização dos atributos em grupos). Além disso, o padrão de metadados ainda apresenta uma compilação de atributos de *workflows* extraídos da literatura correlata, já que não existem padrões de metadados específicos para *workflows*.

Na etapa seguinte do trabalho, o sistema WOODSS foi reestruturado para se tornar extensível e aberto a expansões futuras. Essa reestruturação incluiu a redefinição de sua arquitetura e esforços no sentido de modularizar o sistema. Além disso, a representação de *workflows* dentro do WOODSS foi completamente revista e modificada para uma representação mais completa e compatível com o padrão definido pela WfMC. Por fim, foi proposta um solução para acoplamento de metadados ao WOODSS. Essa solução previu como serão realizadas as tarefas de edição de metadados dentro do sistema e as consultas aos *workflows* armazenados, baseadas em metadados.

As principais contribuições desta dissertação foram:

- Levantamento das características inerentes ao processo de planejamento ambiental e seus requisitos de documentação;
- Proposta de um padrão de metadados, baseado em padrões já existentes, para *workflows* científicos que documentam atividades de planejamento ambiental;
- Reengenharia e recodificação de parte do sistema WOODSS para torná-lo mais aberto, visando sua expansão futura;
- Proposta de solução para acoplamento do padrão de metadados no sistema WOODSS.

6.2 Extensões

Diversas extensões podem ser propostas a esta dissertação. Basicamente, estas extensões podem ser de dois tipos: extensões conceituais ou de implementação.

6.2.1 Extensões Conceituais

As extensões conceituais implicam em pesquisas para resoluções de problemas que ainda ficaram em aberto na documentação de atividades de planejamento ambiental. Algumas

extensões conceituais podem ser:

- **Especificar estruturas de indexação de *workflows*** – Baseado no conjunto de metadados proposto, a definição de estruturas de indexação de *workflows* representa uma iniciativa importante na otimização das consultas do usuário;
- **Pesquisar mecanismos efetivos de interoperabilidade** – O padrão de metadados proposto na dissertação fornece uma base para a interoperabilidade, resolvendo problemas no nível sintático. Entretanto, é preciso pensar em soluções para a interoperabilidade semântica dos dados. Neste contexto, a especificação de ontologias constitui direção de pesquisa interessante para lidar com a interpretação dos conceitos de uma comunidade;
- **Exportação de *workflows*** – O intercâmbio de dados entre especialistas deve ser incentivado. Esse intercâmbio significa troca de experiências e deve ser suportado pelo sistema. A saída pode ser a exportação dos *workflows* de um banco de *workflow* para um formato comum de distribuição, possivelmente em XML – linguagem de grande penetração nos dias de hoje. Uma hipótese seria verificar a adequação de propostas existentes de XML para *workflows* [Coa02];
- **Geração de especificação de planos** – Essa é uma linha semelhante à exportação de *workflow*, exceto que neste caso o que se quer é apenas a geração de um documento em linguagem natural que sirva como documentação formal (por exemplo, para processos jurídicos ou de auditoria) ou para guiar a execução em campo de um plano ambiental;
- **Extração de padrões de análise** – Aplicação de ferramentas apropriadas de mineração de dados pode talvez identificar padrões recorrentes em estratégias desenvolvidas por um especialista. Estes padrões podem indicar, por exemplo, tarefas imprescindíveis para o sucesso de determinados tipos de estratégias.

Um extensão que já vem sendo pesquisada é o acoplamento de outros documentos às atividades de planejamento ambiental [Res03]. Entre eles, documentos que especificam as razões por trás das decisões tomadas ao longo da elaboração de um plano ambiental.

6.2.2 Extensões de Implementação

As extensões de implementação indicam melhorias que podem ser realizadas no sistema que implementa a documentação de atividades de planejamento ambiental. Dentre elas, destacam-se:

- **Implementar o esquema de metadados** – Baseado na proposta de solução apresentada nesta dissertação, implementar os mecanismos de edição de metadados e busca baseada em metadados;
- **Validação do padrão de metadados** – A utilização do sistema que implementa o padrão de metadados pelos usuários potenciais pode indicar extensões necessárias ao padrão para documentar atividades não previstas na sua fase de elaboração;
- **Aprimorar a interface do usuário** – A camada de interface do usuário não passou pelo processo de reformulação, apenas sofreu adaptações para lidar com os novos módulos reconstruídos. Entretanto, o estudo de um projeto de interface é necessário, inclusive envolvendo os futuros usuários do sistema. Constitui direção de pesquisa importante para o prosseguimento do WOODSS;
- **Criar janelas de edição de parâmetros padronizadas** – Para que o WOODSS consiga interagir com uma variedade de SIG, além de utilizar *drivers* específicos para possibilitar a comunicação entre os sistemas, as janelas de edição de parâmetros devem contemplar as especificidades das funções fornecidas pelos SIG. Dessa forma, uma saída viável seria a criação de janelas de edição para um conjunto comum de funções de SIG, de acordo com uma padronização pré-estabelecida de parâmetros;
- **Disponibilizar o WOODSS como um serviço Web** – A possibilidade de executar o WOODSS remotamente pode trazer mais dinamicidade ao processo de elaboração de uma estratégia. Vários benefícios podem ser relacionados, como: participação de vários especialistas simultaneamente; agilidade na obtenção de dados distribuídos (como leituras de sensores de chuva dispersos geograficamente ou observações de campo); suporte para monitoramento remoto, entre outros.

O WOODSS é um sistema projetado para ser utilizado por uma grande variedade de profissionais, pela própria característica multidisciplinar da área de planejamento ambiental. Dessa forma, a implementação das extensões propostas aqui é importante tanto para auxiliar o trabalho dos especialistas quanto para incentivá-los a documentar as estratégias desenvolvidas.

Apêndice A

Especificação do Esquema de Banco de Dados do WOODSS

Este apêndice apresenta a especificação detalhada do esquema de banco de dados do WOODSS. A especificação apresentada aqui considera o novo esquema de representação de *workflows* e a associação do padrão de metadados, ambos propostos nesta dissertação.

A.1 Diagrama Entidade-Relacionamento

A figura A.1 apresenta o diagrama entidade relacionamento do sistema. Trata-se de um diagrama que apresenta um grande número de relacionamentos. Por essa razão, os relacionamentos entre as entidades de metadados e as demais foram omitidos. A maioria das entidades de metadados (no diagrama, entidades com sufixo *Metadata*) se relaciona com todos os componentes básicos de um *workflow* (*Workflow*, *Activity*, *Data* e *Dependency*), excetuando-se: (1) *SpatialMetadata*, que se relaciona com as entidades *Workflow*, *Data* e *Activity*; (2) *DataQuality*, que se relaciona apenas com *Data*; e (3) *WorkflowQuality*, que se relaciona apenas com *Workflow* (vide capítulo 3).

A.2 Esquema do Banco de Dados Relacional

A seguir são apresentadas as relações que compõem o banco de dados do WOODSS. A notação utilizada é a seguinte:

(PK) - Chave primária;

(FK *table*) - Chave estrangeira para a relação *table*;

NOT NULL - Atributo obrigatório;

ENUM(*a*, *b*, *c*) - Atributo pode assumir apenas os valores *a*, *b* ou *c*;

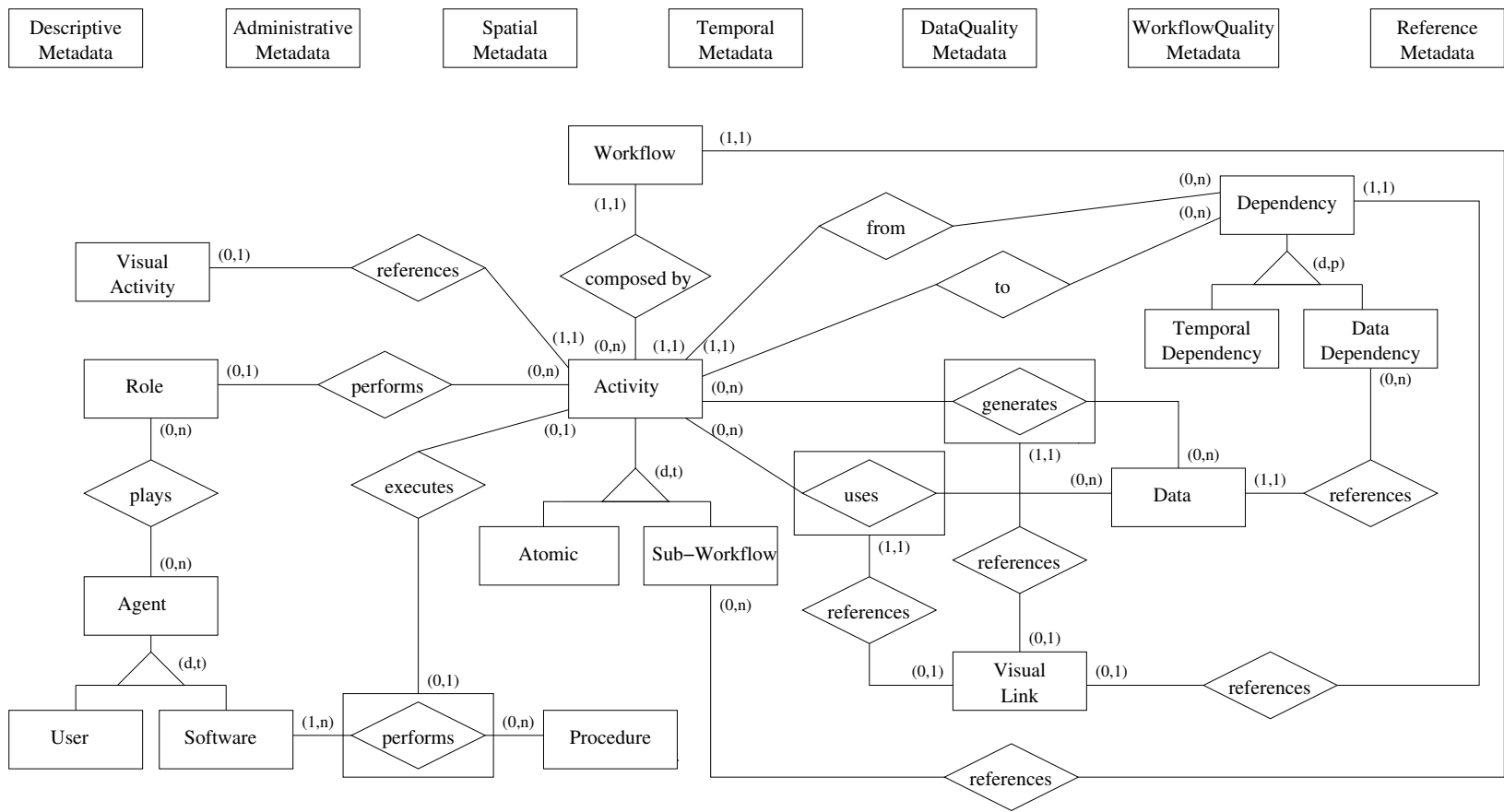


Figura A.1: Diagrama Entidade-Relacionamento do WOODSS.

O primeiro conjunto de relações representa as entidades de metadados definidas pelo padrão proposto no capítulo 3. Vale ressaltar que alguns dos atributos previstos no padrão de metadados já são contemplados estruturalmente pelo próprio esquema de representação de *workflows*, como é o caso, por exemplo, do atributo *authors* da categoria de metadados descritivos. Dessa forma, a relação *DescriptiveMetadata* estabelece um relacionamento com a entidade *User*, como forma de evitar a redundância de dados. As relações de metadados são as seguintes:

```
AdministrativeMetadata (
  id_administrative_metadata  NUMBER (PK),
  prev_revision               DATE,
  ex_revision                 DATE,
  observation                  TEXT,
  id_user                     NUMBER (FK User),
  id_workflow                 NUMBER (FK Workflow),
  id_activity                 NUMBER (FK Activity),
  id_data                     NUMBER (FK Data),
  id_dependency                NUMBER (FK Dependency) )
```

```
DataQuality (
  id_data_quality             NUMBER (PK),
  positional_accuracy         NUMBER,
  attribute_accuracy          NUMBER,
  logical_consistency         TEXT,
  completeness                TEXT,
  lineage                     TEXT,
  currentness                 DATE,
  credibility                  NUMBER,
  reputation                   NUMBER )
```

```
DescriptiveMetadata (
  id_descriptive_metadata    NUMBER (PK),
  title                       TEXT NOT NULL,
  description                  TEXT,
  publisher                    TEXT,
  creation_date                DATE NOT NULL,
  keywords                     TEXT )
```

```
ReferenceMetadata (
  id_reference_metadata      NUMBER (PK),
  semantic                  TEXT,
  id_workflow               NUMBER (FK Workflow),
  id_activity              NUMBER (FK Activity),
  id_data                   NUMBER (FK Data),
  id_dependency             NUMBER (FK Dependency),
  id_workflow_referenced   NUMBER (FK Workflow),
  id_activity_referenced   NUMBER (FK Activity),
  id_data_referenced       NUMBER (FK Data),
  id_dependency_referenced NUMBER (FK Dependency) )

SpatialMetadata (
  id_spatial_metadata      NUMBER (PK),
  region                   TEXT,
  extension                 NUMBER,
  id_county                 NUMBER (FK County) )

TemporalMetadata (
  id_temporal_metadata     NUMBER (PK),
  start                    DATE,
  end                      DATE,
  observation              TEXT,
  id_workflow              NUMBER (FK Workflow),
  id_activity              NUMBER (FK Activity),
  id_data                   NUMBER (FK Data),
  id_dependency            NUMBER (FK Dependency) )

WorkflowQuality (
  id_workflow_quality      NUMBER (PK),
  relevance_data           NUMBER,
  suitability_result       NUMBER )
```

O próximo conjunto de relações representa as entidades componentes do conceito de *workflow*. Estas relações, além de seus próprios atributos, também incorporam os atributos da classe de metadados particulares, previstos pelo padrão. As relações que representam os *workflows* são as seguintes:

```

Agent (
    id_agent          NUMBER (PK),
    id_software       NUMBER (FK Software),
    id_user           NUMBER (FK User) )

Activity (
    id_activity       NUMBER (PK),
    obligator         ENUM(yes, no),
    automation        ENUM(automatic, manual, hybrid),
    priority          NUMBER,
    parameters        TEXT,
    preconditions     TEXT,
    postconditions    TEXT,
    localization     ENUM(initial, intermediary, final),
    cost              TEXT,
    state             ENUM(complete, incomplete),
    id_visual_activity NUMBER (FK VisualActivity)
    id_software       NUMBER (FK SoftwareProcedure),
    id_procedure      NUMBER (FK SoftwareProcedure),
    id_workflow       NUMBER (FK Workflow) NOT NULL,
    id_sub-workflow   NUMBER (FK Workflow),
    id_role           NUMBER (FK Role),
    id_descriptive_metadata NUMBER (FK DescriptiveMetadata) NOT NULL,
    id_spatial_metadata NUMBER (FK SpatialMetadata) )

Data (
    id_data           NUMBER (PK),
    path             TEXT,
    id_data_quality   NUMBER (FK DataQuality),
    id_descriptive_metadata NUMBER (FK DescriptiveMetadata) NOT NULL,
    id_spatial_metadata NUMBER (FK SpatialMetadata) )

```



```

Dependency (
  id_dependency          NUMBER (PK),
  type                  ENUM(data, temporal),
  description            TEXT,
  in_order              NUMBER,
  out_order             NUMBER,
  id_visual_link        NUMBER (FK VisualLink)
  id_activity_from      NUMBER (FK Activity) NOT NULL,
  id_activity_to        NUMBER (FK Activity) NOT NULL,
  id_data               NUMBER (FK Data),
  id_descriptive_metadata NUMBER (FK DescriptiveMetadata) NOT NULL )

Role (
  id_role              NUMBER (PK),
  name                 TEXT,
  description          TEXT )

Software (
  id_software          NUMBER (PK),
  name                 TEXT,
  description          TEXT,
  version              TEXT )

User (
  id_user              NUMBER (PK),
  name                 TEXT,
  description          TEXT,
  address              TEXT )

Workflow (
  id_workflow          NUMBER (PK),
  methodology_strategies TEXT,
  variables            TEXT,
  directives           TEXT,
  preconditions        TEXT,
  postconditions       TEXT,
  cost                 TEXT,
  state                ENUM(complete, incomplete) NOT NULL,

```

```

id_workflow_quality      NUMBER (FK),
id_descriptive_metadata  NUMBER (FK) NOT NULL,
id_spatial_metadata     NUMBER (FK) )

```

O próximo conjunto de relações refere-se aos relacionamentos entre as entidades. Pertencem a este conjunto as relações:

```

ActivityResource (
  id_activity           NUMBER (PK, FK Activity),
  id_resource           NUMBER (PK, FK Resource) )

```

```

AgentRole (
  id_agent             NUMBER (PK, FK Agent),
  id_role              NUMBER (PK, FK Role) )

```

```

DescriptiveUser (
  id_descriptive_metadata NUMBER (PK, FK DescriptiveMetadata),
  id_user              NUMBER (PK, FK User) )

```

```

ExtendedAttributes (
  id_extended_attribute  NUMBER (PK),
  description            TEXT,
  value                 TEXT,
  id_workflow            NUMBER (FK Workflow),
  id_activity            NUMBER (FK Activity),
  id_data               NUMBER (FK Data),
  id_dependency          NUMBER (FK Dependency) )

```

```

InputData (
  id_activity           NUMBER (PK, FK Activity),
  id_data              NUMBER (PK, FK Data),
  order               NUMBER,
  id_visual_link       NUMBER (FK VisualLink) )

```

```

OutputData (
  id_activity           NUMBER (PK, FK Activity),
  id_data              NUMBER (PK, FK Data)
  order               NUMBER,
  id_visual_link       NUMBER (FK VisualLink) )

```

SoftwareProcedure (

```

    id_software          NUMBER (PK, FK Software),
    id_procedure         NUMBER (PK, FK Procedure),
    observation          TEXT )

```

O último conjunto representa relações auxiliares que implementam a manipulação de atributos multivalorados, compostos ou informações de visualização gráfica do *workflow*. Fazem parte deste grupo as seguintes relações:

Coordinates (

```

    id_coordinates      NUMBER (PK),
    latitude            TEXT,
    longitude           TEXT,
    id_spatial_metadata NUMBER (FK SpatialMetadata) )

```

County (

```

    id_county          NUMBER (PK),
    name              TEXT )

```

Country (

```

    id_country        NUMBER (PK),
    name              TEXT )

```

Exception (

```

    id_exception      NUMBER (PK),
    exception         TEXT,
    reaction          TEXT,
    id_workflow       NUMBER (FK Workflow),
    id_activity       NUMBER (FK Activity) )

```

Procedure (

```

    id_procedure      NUMBER (PK),
    name              TEXT,
    description       TEXT )

```

Monitor (

```

    id_monitor        NUMBER (PK),
    revision_date     DATE,

```

```
    observation          TEXT,
    id_workflow          NUMBER (FK Workflow) NOT NULL )

Resource (
    id_resource          NUMBER (PK),
    name                 TEXT,
    description           TEXT )

State (
    id_state             NUMBER (PK),
    name                 TEXT,
    id_country           NUMBER (FK Country) )

VisualActivity(
    id_visual_activity   NUMBER (PK),
    label                TEXT,
    x_position           NUMBER,
    y_position           NUMBER )

VisualLink(
    id_visual_link       NUMBER (PK),
    label                TEXT,
    x_origin             NUMBER,
    y_origin             NUMBER,
    x_destination        NUMBER,
    y_destination        NUMBER )
```


Referências Bibliográficas

- [AAAM97] G. Alonso, D. Agrawal, A. El Abbadi, e C. Mohan. Functionality and Limitations of current Workflow Management Systems. Relatório Técnico, IBM Almaden Research Center, 1997.
- [AH97] G. Alonso e C. Hagen. Geo-Opera: Workflow Concepts for Spatial Processes. Em *Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Databases*, páginas 238–258, Berlin, Germany, 1997.
- [AIL98] A. Ailamaki, Y. E. Ioannidis, e M. Livny. Scientific Workflow Management by Database Management. Em *10th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, páginas 190–199, Capri, Italy, 1998.
- [Ale00] A. C. Alencar. Qualidade de Dados em Aplicações Geográficas. Dissertação de Mestrado, IC-UNICAMP, 2000.
- [Bal81] J. H. Baldwin. *Environmental Planning and Management*. Westview Press, 1981.
- [BKS98] S. Boll, W. Klas, e A. Sheth. Overview on Using Metadata to Manage Multimedia Data. Em A. Sheth e W. Klas, editores, *Multimedia Data Management*, capítulo 1, páginas 1–24. McGraw-Hill, 1998.
- [BS01] T. X. Bui e S. R. Sankaran. Design Considerations for a Virtual Information Center for Humanitarian Assistance/Disaster Relief using Workflow Modeling. *Decision Support Systems*, 31(2):165–179, 2001.
- [BW95] P. Barthelmess e J. Wainer. WorkFlow Systems: a few definitions and a few suggestions. Em *ACM Conference on Organizational Computing Systems*, páginas 138–147, 1995.
- [BYRN99] R. A. Baeza-Yates e B. A. Ribeiro-Neto. *Modern Information Retrieval*. ACM Press / Addison-Wesley, 1999.

- [CCC⁺02] M. A. Casanova, T. A. S. Coelho, M. T. M. Carvalho, E. T. L. Corseuil, H. Nóbrega, F. M. Dias, e C. H. Levy. The Design of XPAE - An Emergency Plan Definition Language. Em *GeoInfo 2002 - IV Simpósio Brasileiro de Geoinformática*, páginas 25–32, Caxambú, Brasil, 2002.
- [CCH⁺96] G. Câmara, M. A. Casanova, A. S. Hemerly, G. C. Magalhães, e C. B. Medeiros. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. IC - UNICAMP, 1996. 10^a Escola de Computação.
- [CFC01] M. T. M. Carvalho, J. Freire, e M. A. Casanova. The Architecture of an Emergency Plan Deployment System. Em *GeoInfo 2001 - III Workshop Brasileiro de Geoinformática*, páginas 19–26, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- [Chr99] A. Christofolletti. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. Editora Edgard Blücher, 1999.
- [CLS98] S. Coulondre, T. Libourel, e L. Spery. Metadata and GIS: A Classification of Metadata for GIS. Em *1st International Conference and Exhibition on Geographic Information*, Lisboa, Portugal, 1998.
- [CMC⁺00] M. C. Cavalcanti, M. Mattoso, M. L. Campos, F. Llibat, e E. Simon. Scientific Experiments Management in Heterogeneous Distributed Database Systems. Relatório Técnico ES-537/00, UFRJ, 2000.
- [CMC⁺02a] M. C. Cavalcanti, M. Mattoso, M. L. Campos, F. Llibat, e E. Simon. Sharing Scientific Models in Environmental Applications. Em *Proceedings of the 2002 ACM Symposium on Applied Computing*, páginas 453–457, Madrid, Spain, 2002. ACM Press.
- [CMC⁺02b] M. C. Cavalcanti, M. Mattoso, M. L. Campos, E. Simon, e F. Llibat. An Architecture for Managing Distributed Scientific Resources. Em *14th International Conference on Scientific and Statistical Database Management*, Edinburgh, Scotland, 2002. IEEE Computer Society Press.
- [Coa02] Workflow Management Coalition. Workflow Process Definition Interface – XML Process Definition Language - Version 1.0 (Beta). Relatório Técnico WFMCTC-1025, Workflow Management Coalition, 2002.
- [Coo98] J. W. Cooper. The design patterns java companion. Publicação Eletrônica disponível em: <http://www.patterndepot.com/put/8/JavaPatterns.htm> (consultado em 20/01/2003), 1998.

- [Cra01] D. Crawford, editor. *Special Issue on Supply Chain*, volume 44. ACM Press, 2001.
- [Dev02] V. Devedzic. Understanding Ontological Engineering. *Communications of ACM*, 45(4):136–144, 2002.
- [EN99] R. A. Elmasri e S. B. Navathe. *Fundamentals of Database Systems*. Addison-Wesley Publishing, 3ª edição, 1999.
- [fgd98] Content Standards for Digital Geospatial Metadata. Relatório Técnico FGDC-STD-001-1998, Federal Geographic Data Committee, 1998.
- [Fis02] L. Fischer, editor. *Workflow Handbook*. Future Strategies Inc., 2002. Publicado em associação com o Workflow Management Coalition (WfMC).
- [FM72] M. T. Farvar e J. P. Milton, editores. *The Careless Technology: Ecology and International Development*. Natural History Press, New York, USA, 1972.
- [GHJV95] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, e J. M. Vlissides. *Design Patterns*. Addison-Wesley Pub Co, 1ª edição, 1995.
- [Gon97] M. A. Gonçalves. Uso de Modelos Hipermedia em Bibliotecas Digitais para Dados Geográficos. Dissertação de Mestrado, IC-UNICAMP, 1997.
- [GV98] O. Günther e A. Voisard. Metadata in Geographic and Environmental Data Management. Em A. Sheth e W. Klas, editores, *Multimedia Data Management*, capítulo 3, páginas 57–87. McGraw-Hill, 1998.
- [HCAA01] R. D. Holowczak, S. A. Chun, F. J. Artigas, e V. Atluri. Customized geospatial workflows for e-government services. Em *Proceedings of the ninth ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems*, páginas 64–69. ACM Press, 2001.
- [HFP88] W. G. Hendrix, J. G. Fabos, e J. E. Price. An Ecological Approach to Landscape Planning using Geographic Information System Technology. *Landscape and Urban Planning*, 15:211–225, 1988.
- [Hol95] D. Hollingsworth. Workflow Management Coalition - The Workflow Reference Model. Relatório Técnico TC00-1003, The Workflow Management Coalition, 1995.
- [HS99] M. Hammer e S. Stanton. How Process Enterprise Really Work. *Harvard Business Review*, páginas 108–118, Novembro-Dezembro 1999.

- [Idr] Clark Labs IDRISI Software. Homepage oficial: <http://www.clarklabs.org>. (consultado em 20/01/2003).
- [iso97] Geographic Information Metadata. Relatório Técnico 15046-15, International Organization for Standardization, 1997.
- [IW97] R. Iannella e A. Waugh. Metadata: Enabling the Internet. Publicação Eletrônica disponível em: <http://www.dstc.edu.au/RDU/publications/cause97/>(consultado em 20/01/2003), 1997.
- [Kas01] D. S. Kaster. Combinando Bancos de Dados e Raciocínio Baseado em Casos para Apoio à Decisão em Planejamento Ambiental. Dissertação de Mestrado, IC-UNICAMP, 2001.
- [KAS⁺02] K. J. Kochut, J. Arnold, A. Sheth, J. Miller, E. Kraemer, B. Arpinar, e J. Cardoso. IntelliGEN: A Distributed Workflow System for Discovering Protein-Protein Interactions. *International Journal on Distributed and Parallel Databases*, 13(1):43–72, 2002.
- [KS98] V. Kashyap e A. Sheth. Semantic Heterogeneity in Global Information Systems: The Role of Metadata, Context and Ontologies. Em M. P. Papazoglou e G. Schlageter, editores, *Cooperative Information Systems*, páginas 139–178. Academic Press, San Diego, USA, 1998.
- [KSL02] J. Kim, W. Suh, e H. Lee. Document-based Workflow Modeling: a Case-based Reasoning Approach. *Expert Systems with Applications*, 23(2):77–93, 2002.
- [LLJ96] C. Lagoze, C. A. Lynch, e R. Daniel Jr. The Warwick Framework: A Container Architecture for Aggregating Sets of Metadata. Relatório Técnico TR96-1593, Cornell University, 1996.
- [LLZO99] C. Liu, X. Lin, X. Zhou, e M. Orłowska. Building a Repository for Workflow Systems. Em *31st International Conference on Technology of Object-Oriented Language and Systems*, páginas 348–357, Nanjing, China, 1999.
- [LR91] B. G. Lees e K. Ritman. Decision-tree and Rule-induction Approach to Integrating of Remotely Sensed and GIS Data in Mapping Vegetation in Disturbed or Hilly Environments. *Environmental Management*, 15(6):35–43, 1991.
- [Mar97] W. M. Marsh. *Landscape Planning – Environmental Applications*. John Wiley and Sons, 3ª edição, 1997.

- [MCB98] A. M. C. Moura, M. L. M. Campos, e C. M. Barreto. A Survey on Metadata for Describing and Retrieving Internet Resources. *World Wide Web*, 1(4):221–240, 1998.
- [MVW95] C. B. Medeiros, G. Vossen, e M. Weske. WASA - A Workflow-based Architecture to Support Scientific Database Applications. Em *Proceedings of 6th Database and Expert Systems Applications*, páginas 574–583, London, UK, 1995.
- [MVW96a] C. B. Medeiros, G. Vossen, e M. Weske. GEO-WASA – Combining GIS Technology with Workflow Management. Em *Proceedings of the 7th Israeli Conference on Computer-Based Systems and Software Engineering*, páginas 122–139, Herzliya, Israel, 1996.
- [MVW96b] J. Meidanis, G. Vossen, e M. Weske. Using Workflow Management in DNA Sequencing. Em *Proceedings of First Conference on Cooperative Information Systems*, páginas 114–123, Brussels, Belgium, 1996.
- [MyS] MySQL Database Server. Homepage oficial: <http://www.mysql.com>. (consultado em 20/01/2003).
- [OPM97] J. L. Oliveira, F. Pires, e C. B. Medeiros. An Environment for Modeling and Design of Geographic Applications. *Geoinformatica*, 1(1):29–58, 1997.
- [Ort84] L. Ortolano. *Environmental Planning and Decision Making*. John Wiley and Sons, 1984.
- [Pir97] F. Pires. *Um Ambiente Computacional de Modelagem para Aplicações Ambientais*. Tese de Doutorado, IC-UNICAMP, 1997.
- [Res03] S. M. Resende. Documentação de atividades de planejamento ambiental centrada em banco de dados. Dissertação de Mestrado, IC-UNICAMP, 2003.
- [RJB98] J. Rumbaugh, I. Jacobson, e G. Booch. *The Unified Modeling Language Reference Manual*. Object Technology Series. Addison-Wesley Pub Co, 1998.
- [RS95] M. Rusinkiewicz e A. P. Sheth. Specification and Execution of Transactional Workflows. Em W. Kim, editor, *Modern Database Systems: The Object Model, Interoperability, and Beyond*, páginas 592–620. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co, 1995.

- [SCP97] R. F. Santos, H. B. Carvalhais, e F. Pires. Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas. Publicação Eletrônica disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/revista/cigv1n2a2.html> (consultado em 20/01/2003), 1997.
- [Sef98] L. Seffino. WOODSS - Sistema Espacial de Apoio ao Processo Decisório baseado em Workflows. Dissertação de Mestrado, IC-UNICAMP, 1998.
- [SGG96] T. R. Smith, S. Geffner, e J. Gottsegen. A Framework for Catalogs and Metainformation in the Context of Digital Libraries. Em *Proceedings of First IEEE Workshop on Metadata*, 1996.
- [SMRY99] L. A. Seffino, C. B. Medeiros, J. V. Rocha, e B. Yi. WOODSS - A Spatial Decision Support System based on Workflows. *Decision Support Systems*, 27(1-2):105–123, 1999.
- [SO97] W. Sadiq e M. Orlowska. Applying a Generic Workflow Modeling Technique to Document Workflows. Em *Second Australian Document Computing Symposium*, Melbourne, Australia, 1997.
- [Sun97] Sun Microsystems. The Java Tutorial. Publicação Eletrônica disponível em: <http://java.sun.com> (consultado em 20/01/2003), 1997.
- [SV96] M. Singh e M. Vouk. Scientific Workflows: Scientific Workflow Meets Transactional Workflow. Em *NSF Workshop on Workflow and Process Automation in Information Systems: State of the Art and Future Directions*, páginas 28–34, Athens, USA, 1996.
- [TRV98] A. Tomasic, L. Rachid, e P. Valduriez. Scaling Access to Heterogeneous Data Sources with DISCO. Em *Transactions on Knowledge and Data Engineering*, volume 10, páginas 808–823. IEEE, 1998.
- [WfM] Workflow Management Coalition. Homepage oficial: <http://www.wfmc.org>. (consultado em 20/01/2003).
- [WH00] E. Weber e H. Hasenack. Avaliação de Áreas para Instalação de Aterro Sanitário através de Análises em SIG com Classificação Contínua dos Dados. Em *GIS Brasil 2000*, Salvador, Brasil, 2000.
- [WMD95] S. Weibel, J. Miller, e R. Daniel. Dublin Core. Relatório Técnico DC-1, Dublin Core Metadata Initiative, Dublin, Ireland, 1995.

- [Wor01] Proposal for Document Process metadata, a new standard. Publicação Eletrônica disponível em: <http://www.wfmd.org> (consultado em 20/01/2003), 2001.
- [WWJK93] J. R. Wright, L. L. Wiggins, R. K. Jain, e T. J. Kim, editores. *Expert Systems in Environmental Planning*. Springer-Verlag, 1993.
- [WWVM96] J. Wainer, M. Weske, G. Vossen, e C. Medeiros. Scientific Workflow Systems. Em *NSF Workshop on Workflow and Process Automation: State of the Art and Future Directions*, Athens, USA, 1996.
- [XR02] P. Xu e B. Ramesh. Supporting Workflow Management Systems with Traceability. Em *35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, volume 3, Hawaii, USA, 2002.