

**MODELAGEM
COMPUTACIONAL
DE CONHECIMENTO**

Dissertação de Mestrado

Modelagem Formal de *Workflows* a partir
de uma Metodologia para Gestão de
Processos de Negócio na Saúde Pública

André Gustavo Teixeira Lins
andrelins@gmail.com

Maceió, Abril de 2010

ANDRÉ GUSTAVO TEIXEIRA LINS

Modelagem Formal de *Workflows* a partir
de uma Metodologia para Gestão de
Processos de Negócio na Saúde Pública

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Curso de
Mestrado em Modelagem Computacional de Co-
nhecimento da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador:

Profa. Dra. Eliana Silva de Almeida

Maceió, Abril de 2010

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Maria Auxiliadora G. da Cunha

L759m Lins, André Gustavo Teixeira.

Modelagem formal de *workflows* a partir de uma metodologia para gestão de processos de negócio na Saúde Pública / André Gustavo Teixeira Lins, 2010.

134 f. : il.

Orientador: Eliana Silva de Almeida.

Dissertação (mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Computação. Maceió, 2010.

Bibliografia: f. 125-134.

1. Workflow. 2. Modelagem. 3. Saúde Pública. I. Título.

CDU: 004.4.614

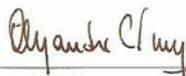
Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Modelagem Computacional de Conhecimento pelo Programa Multidisciplinar de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Conhecimento, da Universidade Federal de Alagoas, aprovada pela comissão examinadora que abaixo assina:



Profa. Dra. Eliana Silva de Almeida

UFAL – Instituto de Computação

Orientadora



Prof. Dr. Alejandro Cesar Frery

UFAL – Instituto de Computação

Examinador



Profa. Dra. Daniela Barreiro Claro

UFBA – Departamento de Ciência da Computação

Examinadora

Maceió, abril de 2010.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à toda minha família, os maiores valores que tenho na vida. Minha mãe Edissalma, minha maior incentivadora. Minhas irmãs Paula e Cristina, exemplos para mim de maneiras tão diferentes e minha esposa Agda, que tanto sofreu e renunciou junto ao meu lado durante essa caminhada.

Quero dedicar também, uma menção especial à minha querida Profa. Dra. Eliana Almeida, que me estendeu a mão mais uma vez quando eu mais precisei nessa mais recente jornada acadêmica.

Agradeço aos meus amigos, que são poucos mas de verdade. Vocês sabem quem são. Sei que vão se sentir quase tão felizes quanto eu depois da concretização dessa tão difícil conquista.

Agradeço muitíssimo ao Prof. Dr. Alejandro Frery, que muito me engrandeceu como pesquisador através dos conhecimentos ministrados em suas disciplinas. Um verdadeiro divisor de águas no caminho que percorri nesse curso.

A Universidade Federal de Alagoas, seus funcionários e corpo docente e a todos os meus colegas de trabalho, que contribuíram direta ou indiretamente para esse marco em minha vida. Até mesmo àqueles que criaram dificuldades, pois superando-as aprendi a ser mais forte e me tornei ainda mais confiante para enfrentar os novos desafios que estão por vir.

Por fim, gostaria de agradecer e dedicar tudo isso ao meu pai, Lindalvo Lins, o maior responsável por eu ser hoje a pessoa que sou. Lamento muito ele não poder mais entender tão bem o que tudo isso representa mas agradeço a Deus o fato dele estar vivo e ao nosso lado para que eu possa abraçá-lo e dizer o quanto sua presença é importante para mim.

Resumo

A eficiência das políticas de saúde pública no Brasil depende, entre outros fatores, de uma gestão avançada de seus processos de negócio. Entretanto, esses processos muitas vezes se baseiam no conhecimento tácito de seus especialistas e em métodos de trabalho eventualmente mal definidos que podem resultar em dados redundantes, tarefas estagnadas e recursos mal utilizados pelas empresas. No intuito de contribuir para a melhoria desse quadro, sistemas de informação orientados a processo se mostram como grandes aliados na implantação de uma visão mais sistêmica de trabalho nas organizações, principalmente na gestão pública, onde essa cultura não é muito comum. Nesse contexto, destacamos os sistemas de gerenciamento de *workflow* como uma das melhores soluções para corrigir problemas dessa natureza, por conta de sua habilidade no tratamento de fluxos de trabalho, interligação de tarefas e compartilhamento de recursos nas organizações. Em complemento à modelagem de negócio, é fundamental que a especificação do *workflow* seja feita de maneira visual, flexível e muito precisa, promovendo a aplicação de técnicas de análise que garantam de maneira eficaz resultados previamente estabelecidos, principalmente em tarefas críticas como o tratamento de pacientes, investigação de epidemias e promoção da saúde coletiva de uma população. De acordo essas premissas, este trabalho tem como objetivo a utilização das *Workflow-Nets*, uma das extensões do formalismo redes de Petri, para especificação formal de *workflows* e a execução de técnicas de análise como validação, verificação e simulação, norteados por uma metodologia iterativa para gestão de processos de negócio fortemente baseada em fluxos de trabalho. Além da especificação do *workflow* e da nova metodologia apresentada, esse trabalho também promove o desenvolvimento de um sistema de *workflow*, com um módulo para extração de *logs*, a partir de sua base de dados, para aplicação da técnica de *Workflow mining*, usada para identificação do hiato entre modelos de negócio e especificações de *workflow*. Identificamos como escopo de atuação do projeto, a área da saúde pública dedicada à gestão dos processos de monitoramento da qualidade da água para consumo humano em Alagoas e sua ligação com um dos maiores problemas do estado: A mortalidade infantil.

Palavras-chave: workflow; saúde pública; modelagem;

Abstract

The efficiency of Brazilian Public health policies relies on many variables such as advanced management of its business processes. However, the rules of these processes are often based on tacit specialist knowledge and eventually on erratic working methods which result in redundant data, static tasks and wasted company resources. In order to improve this scenario, process-aware information systems have shown their importance by implementing a more systemic vision of corporate work, especially for public administration where this is not very well known. In the light of this matter, we highlight the workflow management systems as one of the best solutions to correct such problems due to its skill in handling workflows, linking broken tasks and sharing resources. In addition to the process of business modeling, it is essential that this specification is visual, flexible and very accurate, promoting the application of analysis techniques which guarantee previous results, especially in critical activities such as patients' treatment, investigation of epidemics, and health promotion for large groups of people. Based on these assumptions, this work aims to adopt the Workflow-Nets, an extension of the Petri nets formalism, to the formal specification and implementation of analysis techniques such as validation, verification and simulation, guided by an iterative methodology for business processes management heavily based on workflows. Besides the workflow specification and the new methodology presented, this work also develops a workflow system with a log extraction module for the application of Workflow Mining, a technique used to identify the gap between business models and workflow specifications. For the scope of this project, we identified the area of public health responsible for water quality management in Alagoas and its connection with one of the most worrying social problems of the state: The infant mortality.

Keywords: workflow; public health; modeling;

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Materiais e Métodos	15
1.4	Estrutura do Trabalho	16
2	Sistemas de Informação em Saúde	17
2.1	Introdução	17
2.2	Informática em Saúde	18
2.2.1	Aspectos Tecnológicos	19
2.2.2	Aspectos Culturais	20
2.2.3	Modelagem de Processos na Área de Saúde	21
2.3	A Saúde Pública	21
2.3.1	O Sistema Único de Saúde (SUS)	22
2.3.2	Áreas de Atuação do SUS	22
2.3.3	O SUS no estado de Alagoas	23
2.3.4	Sistemas de Informação do SUS	24
2.3.5	Indicadores de Saúde Pública	25
2.4	Conclusões	26
3	Gerenciamento de Processos de Negócio	27
3.1	Introdução	27
3.2	A Visão dos Processos de Negócio nas Organizações	28
3.2.1	A Área de Pesquisa	28
3.2.2	Conceitos Básicos	29
3.2.3	Aplicações	30
3.3	Modelagem e Análise de Processos de Negócio	31
3.3.1	Uma Visão Comparativa	32
3.3.2	A Simplicidade dos Modelos Visuais	32
3.3.3	A Consistência e Complexidade dos Modelos Formais	35
3.3.4	O Uso de Linguagens na Execução de Processos	36
3.3.5	Os Diferentes Tipos de Análise	37
3.4	Sistemas de Informação Orientados a Processo	39
3.4.1	Histórico e Evolução dos Sistemas de Informação	39
3.4.2	A Visão <i>Back-Office</i> dos sistemas ERP	41
3.4.3	A Evolução e Visão Aplicada dos SCM e dos CRM	42
3.4.4	EAI - <i>Enterprise Application Integration</i>	43
3.5	Conclusões	44

4	O Gerenciamento de <i>Workflows</i>	46
4.1	Introdução	46
4.2	O Advento dos <i>Workflows</i>	46
4.2.1	A Área de Pesquisa	47
4.2.2	Conceitos Básicos	47
4.2.3	Propriedades	49
4.2.4	Tipos de <i>Workflow</i>	50
4.2.5	Aplicações	54
4.3	Perspectivas de Especificação	54
4.3.1	As Perspectivas Orientadas ao Processo e suas Tarefas	55
4.3.2	A Perspectiva Orientada aos Recursos	56
4.3.3	A Perspectiva Operacional	57
4.3.4	A Perspectiva Informacional	58
4.4	Sistemas de Gerenciamento de <i>Workflows</i>	59
4.4.1	A Origem na Automação de Escritórios	59
4.4.2	Classificação e Arquitetura	60
4.4.3	Sistemas de <i>Workflow</i> Baseados em Redes de Petri	63
4.4.4	Sistemas de <i>Workflow</i> Baseada em Padrões	64
4.5	Conclusões	67
5	Gerenciamento de <i>Workflows</i> com Redes de Petri	68
5.1	Redes de Petri	68
5.1.1	A Área de Pesquisa	68
5.1.2	Conceitos Básicos	69
5.1.3	Propriedades	71
5.1.4	Métodos de Análise	73
5.1.5	Aplicações	76
5.2	Redes de Petri de Alto Nível	76
5.2.1	Tipos de Redes de Petri	76
5.2.2	Adicionando Atributos aos <i>Tokens</i> da Rede	78
5.2.3	Extensão das redes de Petri de alto nível	79
5.3	Redes de Petri no contexto dos <i>workflows</i>	80
5.3.1	Especificação de um Processo	80
5.3.2	Wf-Nets: Redes de Petri para Modelagem de <i>Workflow</i>	81
5.3.3	Construção de rotas	82
5.3.4	A Importância dos Gatilhos	84
5.3.5	Tarefas, itens de trabalho e atividades	85
5.3.6	Classificação e Gerenciamento de Recursos	85
5.4	Análise de <i>Workflows</i>	86
5.4.1	Análise de WF-Nets	87
5.4.2	Propriedades Desejáveis para Análise das <i>WF-nets</i>	87
5.4.3	Decomposição e Composição de Wf-Nets Hierárquicas	90
5.4.4	Simulação a partir de Arquivos de <i>Log</i>	91
5.5	Conclusões	93

6	Workflow-Nets na Saúde Pública	94
6.1	Introdução	94
6.1.1	Gerenciamento de <i>Workflows</i> na Área de Saúde	95
6.2	A Metodologia Adotada	95
6.2.1	Fase 1: Tipos de Abordagem e Objetivos do Projeto	97
6.2.2	Fase 2: Áreas Críticas e Identificação de <i>Workflows</i>	98
6.2.3	Fase 3: Modelagem e Perspectivas de Especificação	99
6.2.4	Fase 4: Seleção e Aplicação das Técnicas de Análise	102
6.2.5	Fase 5: Avaliação de Resultados e Melhoria Contínua	103
6.3	Aplicação da Metodologia	104
6.3.1	Identificação do Cenário	104
6.3.2	A Mortalidade Infantil e os Processos da Vigilância em Saúde . .	105
6.3.3	Modelagem de Negócio e Perspectivas de Especificação na Saúde Ambiental	105
6.3.4	Modelagem Formal com redes de Petri	107
6.3.5	Árvore de Alcançabilidade e Análise Semântica da Rede	108
6.3.6	<i>Wf-Nets</i> e Decomposição de Tarefas Laboratoriais	111
6.3.7	Sistema de <i>Workflow</i> e Melhorias no Lacen-AL	112
6.3.8	Expansão para Áreas Adjacentes e Outras Linguagens	114
7	Resultados	116
8	Conclusões e Trabalhos Futuros	118
8.1	Trabalhos Futuros	120
A	Imagens de Campo	122
	Referências	125

Lista de Abreviaturas e Siglas

BPMN	Business Process Modelling Notation
BPMS	Business Process Modelling Systems
CRM	Customer Relationship Management
EAI	Enterprise Application Integration
EPC	Event Process Chains
GSPN	Generalized Sthocastic Petri Nets
PAIS	Process-Aware Information Systems
SCM	Supply Chain Management
SPN	Sthocastic Petri Nets
SPT	Sistemas de Processamento de Transações
SUS	Sistema Único de Saúde
UML	Unified Modelling Language
WfMC	Workflow Modelling Coalition

Lista de Figuras

2.1	Estrutura da saúde pública no estado de Alagoas	24
3.1	O ciclo de vida da gestão de processos de negócio comparado ao ciclo gestão dos <i>workflows</i>	30
3.2	Classificação de modelos de processo de negócio (Vergidis et al., 2008)	32
3.3	Um exemplo de aplicação do fluxograma	33
3.4	Processo de Negócio Modelado com BPMN	33
3.5	Modelagem de Processos de Negócio com UML	34
3.6	Elementos da linguagem para modelagem EPC:Event Process Chain	35
3.7	Tipos de análise e as técnicas para modelagem de processo (Vergidis et al., 2008).	38
3.8	Tendências relevantes para a área de gerenciamento de processos	40
3.9	Arquitetura dos Sistemas de Negócio e seus Inter-relacionamentos	44
4.1	Relacionamentos entre os conceitos básicos de um <i>workflow</i> (WFMC, 2009)	49
4.2	Uma visão em três dimensões de um workflow (van der Aalst, 1998)	50
4.3	Processos de Workflow comparados com processos colaborativos (van der Aalst, 1998)	51
4.4	Workflow de produção para um processo automatizado de requerimentos na área de saúde	52
4.5	<i>Workflow ad-hoc</i> para revisão de artigo científico	52
4.6	Workflow administrativo para revisão de artigo científico	53
4.7	Caracterização dos tipos de workflow (Georgakopoulos et al., 1995)	54
4.8	As cinco perspectivas de um <i>workflow</i> , segundo a WfMC (Stohr & Zhao, 2001)	55
4.9	Histórico dos Sistemas de Gerenciamento de Workflow	59
4.10	Modelo de Referência da WfMC (WFMC, 2009)	62
4.11	Relação entre os patterns Multi-escolha e Sincroniza-Mescla	65
4.12	Padrões de Cancelamento de Workflow	66
5.1	Notação gráfica de uma Rede de Petri e algumas interpretações dos elementos usados.	69
5.2	Comportamento de uma rede de Petri no disparo de uma transição	70
5.3	Níveis de vivacidade em uma rede de petri	72
5.4	Rede de Petri e sua árvore de alcançabilidade	73

5.5	Técnicas de redução aplicadas nas redes de Petri: (a) Fusão de lugares em série; (b) Fusão de transições em série; (c) Fusão de transições em paralelo; (d) Fusão de lugares em paralelo; (e) Eliminação de lugares com repetição interna; (f) Eliminação de transições com repetição interna	75
5.6	Rede elementar modelando um teleférico com seis vagões e duas linhas	77
5.7	Rede lugar/transição modelando teleférico com seis vagões e duas linhas	77
5.8	Exemplo de uma rede de Petri colorida	78
5.9	Modelo de uma rede de Petri Predicado/Transição	79
5.10	Sistema para processamento de reclamações modelado com redes de Petri	80
5.11	Mesmo sistema representado com vários casos em execução	81
5.12	Abstração de uma WF-Net	82
5.13	Rota sequencial em um processo de <i>workflow</i>	82
5.14	Rota em paralelo em um processo de <i>workflow</i>	83
5.15	Rotas condicionais em um processo de <i>workflow</i>	83
5.16	Rota iterativa em um processo de <i>workflow</i>	83
5.17	Tipos de gatilho em um processo de <i>workflow</i>	84
5.18	Gerenciamento de reclamações modelado com uma WF-Net	85
5.19	Classificação de recursos em um <i>workflow</i>	86
5.20	Exemplo de Wf-Net sem a propriedade <i>Sound</i>	88
5.21	Rede $\overline{PN} = (P, T \cup \{t^*\}, F \cup \{\langle o, t^* \rangle, \langle t^*, i \rangle\})$	88
5.22	Boas e más construções para análise de WF-Nets	90
5.23	Uma WF-Net PN3 composta a partir de PN1 e PN2	91
5.24	Uma Wf-Net hierárquica para um sistema de reclamações	92
5.25	O Ciclo de vida de um <i>Workflow</i> e a sua relação com <i>Workflow Mining</i> .	93
6.1	Abstração da Metodologia Adotada em UML	96
6.2	Etapas da Fase 1 modeladas em UML	97
6.3	Etapas da Fase 2 modeladas em UML	98
6.4	Etapas da Fase 3 modeladas em UML	100
6.5	Etapas da Fase 4 modeladas em um diagrama de atividades	102
6.6	Etapas da Fase 4 modeladas em um diagrama de atividades	103
6.7	Modelagem de Negócio do cenário atual	106
6.8	Rede de Petri para o cenário atual do problema	108
6.9	Técnica de redução aplicada à rede de Petri inicial - Etapa 1	109
6.10	Rede após redução	109
6.11	Árvore de Alcançabilidade do Cenário Atual	110
6.12	Rede modificada já no formato de uma Wf-Net	111
6.13	Subflow correspondente a tarefa Gerenciar Amostra	113
6.14	Perspectivas de expansão em versões futuras do workflow	115
A.1	Setor de recepção de amostras de água no Lacen-AL	122
A.2	Amostras de água entregues pelo município	122
A.3	Amostras de água separadas para análise	123
A.4	Visita técnica da vigilância ambiental	123
A.5	Projeto de cisterna no sertão do estado	123
A.6	Construção de cisterna em fase final	124
A.7	Comunidade consome água poluída	124
A.8	Água imprópria para consumo	124

Lista de Tabelas

2.1	Lista de alguns dos sistemas de informação do SUS	24
2.2	Exemplo de alguns indicadores de saúde	25
3.1	Técnicas para modelagem de processo e suas respectivas linguagens de execução	37
3.2	Comparação entre Sistemas de Workflow e ERP	42
4.1	Lista de algumas linhas de pesquisa sobre <i>workflows</i>	48
6.1	Opções de linguagem para modelagem de negócio	101

Capítulo 1

Introdução

No domínio da saúde pública, a área da vigilância ambiental tem como uma de suas missões o monitoramento da qualidade da água para consumo humano, oferecida por sistemas de abastecimento de pequeno, médio e grande porte, no intuito de prover condições mínimas de sobrevivência para famílias em povoados, cidades e estados brasileiros.

O fluxo de trabalho desse setor, gerencia a capacitação de agentes de saúde municipais para coleta e envio de amostras de água para análise periódica em laboratórios de saúde pública, onde unidades de análise realizam ensaios de *pH*, cloro, turbidez, presença de flúor, presença de coliformes, entre outros, para garantir o nível satisfatório de qualidade da água consumida pela população. Os resultados reportados nos laudos desses ensaios trazem informações de grande importância para outros setores da saúde, como por exemplo, a área responsável pela monitoração de doenças diarreicas agudas e outros males de veiculação hídrica que acometem populações mais pobres e necessitam de uma avaliação crítica e contínua.

Um tratamento eficaz dessas atividades é de suma importância, principalmente pelo fato de estarem ligadas com um dos tópicos mais delicados no universo da saúde pública: A mortalidade infantil. Por fim, também é importante salientar que, dentro desse contexto, o resultado de todo esse trabalho é norteado por indicadores de saúde, que são pactuados nas três esferas de gestão com o intuito de melhor definir os rumos das políticas adotadas dentro do Sistema Único de Saúde (SUS).

1.1 Justificativa

Apesar de tamanha relevância dos temas expostos e das conexões entre tarefas, setores e recursos envolvidos, configurando um cenário com potencial para especificação de *workflow*, atualmente é raro existir uma integração formalizada entre os processos de negócio e os dados manipulados por cada uma das áreas mencionadas, o que leva cada

uma delas a exercer suas atividades apenas como ilhas de produção de dados, impossibilitando uma utilização produtiva dos resultados obtidos por suas atividades e gerando problemas como redundância de trabalho, dados incorretos, recursos mal utilizados e muitos outros.

Tais fatos, muitas vezes nem são conhecidos, provavelmente acontecem por problemas como a falta de ferramentas que facilitem a comunicação intersetorial ou pela carência de uma forma de comprovação efetiva do impacto negativo que isso causa à população, que depende fortemente dos serviços de saúde pública. Por todos os fatos expostos, essas necessidades nos levaram aos estudos para responder a pergunta: Como é possível reverter quadros negativos em áreas de missão crítica orientadas por fluxos de trabalho? A modelagem de *workflows* com redes de Petri, a partir de uma metodologia para gestão de processos de negócio aplicada na área destacada anteriormente vai trazer essa resposta.

1.2 Objetivos

Este trabalho possui como objetivo principal uma modelagem formal de *workflow*, que será aplicada no cenário da saúde pública do estado de Alagoas, com o foco na gestão da qualidade da água para consumo humano e seus efeitos na saúde da coletiva da população. Essa modelagem será feita com o apoio das redes de Petri e sua extensão para esse tipo de assunto: As *workflow-nets*. Para direcionar de forma mais organizada essa modelagem, foi desenvolvida uma metodologia para gestão de processos de negócio baseada justamente em *workflows*. Como resultados obtidos através dessa modelagem é esperado que se encontrem e, conseqüentemente, se corrijam os gargalos, redundâncias e erros na estratégia de uso dos recursos envolvidos e na execução das tarefas que cercam o domínio abordado. Como objetivos específicos do projeto, podemos ainda listar:

- Estudo e modelagem de negócio no escopo da saúde pública utilizando ferramentas e linguagens de alto poder de expressão gráfica.
- Especificação formal de *workflow* utilizando as *workflow-nets* em uma sub-área da saúde pública dedicada à gestão da água para consumo humano e sua influência na saúde da população.
- Desenvolvimento de sistema de *workflow* para o gerenciamento de amostras de água para consumo humano de Alagoas com ênfase nas atividades de laboratório especificadas pelas *workflow-nets*.
- Desenvolvimento de um aplicativo para efetuar a extração de arquivos de *log* desse sistema, visando aplicar técnicas de *workflow mining*, para identificação problemas na especificação do *workflow*.

- Desenvolvimento de uma metodologia genérica para gestão de processos de negócio, fortemente orientada à fluxos de trabalho.

1.3 Materiais e Métodos

Em relação à fundamentação teórica, usamos como principal fonte de pesquisa a área de indexação de periódicos científicos ISI *Web of Science*, onde foram obtidas a grande maioria das referências utilizadas, usando como parâmetro o fator de impacto dos periódicos pesquisados, quantidade de citações de cada publicação (artigos, *incollections*, *proceedings*, relatórios técnicos, revisões e outros formatos), grau de relevância para o tema e nível de produtividade (fator-H) dos autores envolvidos. Além do ISI, para complementar essa pesquisa foram utilizados livros, a ferramenta complementar de busca *Google acadêmico* e *websites* de instituições de ensino, pesquisa ou de empresas de destaque nas áreas de enfoque desse trabalho.

Para organizar, catalogar e acompanhar mais facilmente todo o material obtido, essas referências foram gerenciadas com a ferramenta *JabRef* (JabRef, 2010). Um gerenciador de referências bibliográficas de código aberto e multiplataforma que nos permitiu descobrir vários vínculos entre as referências usadas, como por exemplo: periódicos mais usados no trabalho, autores com trabalhos em comum (ou ao menos linhas de pesquisa semelhantes), referências mais influentes, ramificações de pesquisa e sua evolução no decorrer dessas publicações, temas emergentes e de grande influência para trabalhos futuros, entre muitos outros. Em relação ao desenvolvimento da dissertação, utilizamos a plataforma \LaTeX , com o editor de textos *TexMaker* (Texmaker, 2010) e o editor de imagens *Inkscape* (Inkscape, 2010), para tratamento vetorial das figuras usadas no trabalho. Ambos também de código aberto e multiplataforma.

Em relação à parte mais técnica, foram elaboradas e executadas entrevistas semi-estruturadas com profissionais de saúde pública envolvidos com áreas de vigilância em saúde relacionadas com doenças de veiculação hídrica, mortalidade infantil, vigilância ambiental e principalmente com as atividades do laboratório central de saúde pública. Os resultados dessas entrevistas foram modelados em diagramas de atividades por meio da ferramentas *Visual Paradigm Community Edition*. Foram adotadas ainda, ferramentas para especificação e análise de *workflows* baseados em redes de Petri, listadas a seguir:

- PIPE2 - Ferramenta de código aberto com suporte a redes de Petri tradicionais e recursos avançados como: comparação entre redes, análise comportamental, análise estrutural, grafos de alcançabilidade e análise de invariantes (Bonet, 2009).
- Woped - Outra ferramenta de código aberto para manipulação de redes de Petri, mais específica para extensão dedicada à modelagem de *workflows*, as *Workflow-*

Nets. Possui editor gráfico de redes, recursos, suporte a subprocessos, animação de disparo de transições, formato de intercâmbio de dados, análise semântica e quantitativa. É licenciada sob os termos da GNU LGPL (Woped, 2009).

- ProM: Uma das mais completas ferramentas para tarefas avançadas de análise e mineração de *workflows*. Avalia vários formatos de arquivo, faz análise de arquivos de *log*, análise qualitativa e quantitativa e simulações de processos (van der Aalst et al., 2007b; ProM, 2010).

Todos esses aplicativos, métodos e informações obtidas, deram grande contribuição no traçado da linha mestra dessa dissertação, com um alto teor multidisciplinar, cuja estruturação será detalhada a seguir.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho se divide em oito capítulos. No capítulo 2, abordaremos a área de saúde pública, escopo da aplicação do trabalho, descrevendo de forma sumarizada o seu funcionamento bem como a gestão da informação envolvida nesse universo com um enfoque na área de sistemas de informação em saúde e gestão de processos de negócio.

No capítulo 3, é realizado um estudo sobre a visão orientada a processos nas organizações, com a análise de ferramentas visuais, linguagens e soluções baseadas em modelos formais para identificar e organizar regras, tarefas, recursos e outras variáveis no universo de sistemas orientados a processo. A relação desse tipo de sistema com os *workflows* também será feita nesse capítulo.

O capítulo 4 traz as principais informações sobre a área de *workflows*. Principais conceitos, classificações e perspectivas de especificação e seus sistemas de gerenciamento. Um destaque especial será dado aos sistemas de *workflow* baseados em redes de Petri, solução formal adotada como base para a especificação de *workflows* de nosso estudo de caso e tratado de forma mais minuciosa em seguida.

O capítulo 5 se dedica ao estudo das *workflow-nets*, extensão das redes de Petri dedicada à modelagem de *workflows*.

Nosso estudo de caso será no capítulo 6, onde é definida uma metodologia para gestão de processos de negócio, a partir da qual é realizada uma especificação formal de *workflow* na área de saúde pública.

Por fim, no capítulo 7 os principais resultados obtidos desse trabalho são expostos e no capítulo 8, são apresentadas as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Sistemas de Informação em Saúde

Trataremos neste capítulo dos sistemas de informação em saúde. Serão vistos tópicos estratégicos que envolvem aspectos organizacionais como mudanças de paradigmas, gestão cooperativa e colaborativa dos processos de trabalho, além de questões técnicas no tocante à interoperabilidade, integração de sistemas heterogêneos e modelagem de processos de negócio para melhor uso da informação. Em seguida, entrando em um escopo mais específico, será descrito o funcionamento do sistema de saúde pública brasileiro (SUS). Serão abordadas áreas de atuação, características e funcionamento no estado de Alagoas, no que diz respeito aos seus indicadores, sistemas de informação e outras variáveis envolvidas. Essa leitura sobre o SUS é fundamental para que se possa entender o porquê das discussões aqui levantadas, sua ligação com modelagem de processos de negócio, *workflows* e toda a temática a ser discutida em seguida.

2.1 Introdução

De acordo com Haux (2006) podemos definir sistemas de informação em saúde (*Health Information Systems - HIS*) como todo complexo ou sistema que processa dados, informação ou conhecimento em ambientes da área de saúde. Assim, termos como sistemas de informação hospitalares (*Hospital Information Systems*) caracterizam apenas uma das várias instâncias desse tipo de sistema que possui como principal objetivo contribuir para a melhoria na qualidade de saúde da população através de processos médicos ou organizacionais, ligados direta ou indiretamente ao paciente.

A tecnologia da informação se aproxima cada vez mais das políticas de gestão da saúde. Ammenwerth et al. (2003) cita como exemplos a introdução de sistemas de informação nos mais diversos níveis de negócio, estratégias para gestão do conhecimento, evolução dos parques tecnológicos utilizados, e muitos outros fatores que confirmam que esse domínio já se encontra na era da informação.

2.2 Informática em Saúde

A informática em saúde, também conhecida em alguns nichos como informática médica engloba a interlocução entre as áreas de ciência da computação, sistemas de informação, medicina, biomedicina e outras ramificações da saúde, sendo um campo que lida principalmente com a gestão da informação e aplicação de ações com apoio da informática nas diversas áreas da saúde. Entre as principais linhas de pesquisa que se desenvolvem nessa área, podemos citar (Haux, 2006):

- Informação baseada em processos computacionais: Muito embora boa parte da informação produzida em unidades de saúde seja armazenada em papel, já existem muitas iniciativas de informatização do processo de negócio para diminuir consideravelmente essa realidade. A dificuldade de avanços nesta área, muitas vezes é devido a aspectos culturais (e às vezes até mesmo legais) que impedem que muitas dessas unidades ainda não adotem essa estratégia ou permaneçam utilizando ambos os modelos, duplicando a informação produzida. Em trabalhos como os de Christensen et al. (2009); Harper et al. (1997); Neubauer et al. (2001) são apresentados casos em que a informação baseada em processos computacionais é aplicada com êxito. A modelagem de complexos processos de negócio, permitirá a transição do uso de papel para a informatização, trazendo uma realidade mais adequada no uso da informação, tanto para hospitais de grande, médio e pequeno porte como também para laboratórios, farmácias, unidades de pesquisa e todas as peças que façam parte desse sistema de informação.
- Arquitetura globalizada: A importância da informação junto com à necessidade de globalização dos serviços oferecidos não traz mais espaço para sistemas departamentais funcionando como ilhas de produção de dados. Soluções na área de saúde precisam interagir cada vez mais com várias outras partes que compõem esse tipo de sistema. Conseqüentemente, é fundamental a evolução da arquitetura de sistemas de informação em saúde para modelos escaláveis e prontos para interoperabilidade, customizações e de natureza colaborativa (Xiao, 2005), dando suporte a essas necessidades.
- Maior quantidade de perfis de usuários: Comparando com um passado não muito distante onde os usuários finais desse tipo de sistemas eram apenas profissionais de saúde ou funcionários do corpo administrativo dessas unidades (Haux, 2006), muitos outros papéis existentes nesse domínio passam hoje a ter influência na modelagem de seus processos de negócio. Além de novos sistemas voltados para outras sub-áreas de saúde como enfermagem, farmácia, biomedicina, fisioterapia e várias outras, hoje o próprio paciente e seus familiares fortalecem a preocupação

de especificar visões diferentes de um mesmo dado de acordo com outros interesses e particularidades.

- Uso dos dados para pesquisa científica: Além do tratamento de doenças, sistemas de informação em saúde nos dias atuais podem muito bem propiciar facilidades para investigação e prevenção. Estudos epidemiológicos e estatísticos podem ser muito úteis para planejamento de estratégias de gestão que venham evitar graves problemas de saúde coletiva, diminuindo seus impactos ou até mesmo impedindo que os mesmos venham a acontecer.
- Adoção de outros tipos de dados: Confirmando a evolução dos campos de informática e suas aplicações em saúde, os tipos de dados gerenciados por estes sistemas de informação deixaram, com o passar do tempo, de possuir uma natureza exclusivamente alfanumérica. Além de grandes avanços na área de processamento de imagens médicas (Muller et al., 2004), novos tipos de dados em nível molecular (Haux, 2006) também podem hoje ser gerenciados diretamente por sistemas de informação implantados em laboratórios, clínicas e outros tipos de unidade de saúde com auxílio de equipamentos preparados para esse tipo de tarefa.

Além do grande potencial em pesquisa na área, diversas instituições, associações e grupos de pesquisa são dedicados hoje a estudos, padronizações e ações nesse foco de atuação. Podemos citar como algumas das organizações mais importantes: Associação Internacional de Informática Médica (IMIA, 2009); Associação Americana de Informática Médica (AMIA, 2009) e a Sociedade Brasileira de Informática em Saúde (SBIS, 2009). Podemos ainda mencionar a *Healthcare Information and Management Systems Society* (HIMSS, 2009), o *European Centre for Medical Informatics, Statistics and Epidemiology* (EuroMISE, 2009) e a *European Federation for Medical Informatics* (EFMI, 2009).

2.2.1 Aspectos Tecnológicos

A falta de integração e a disponibilização de resultados inconclusivos para os gestores podem ser considerados, como alguns dos maiores problemas dos sistemas de informação em saúde (Haux, 2006). As etapas que envolvem um tratamento de saúde estão intimamente interligadas. Desde uma simples consulta, até processos sequenciais como a prescrição de exames e medicamentos, internações e a execução de outros procedimentos de saúde (que variam de acordo com a especialidade envolvida) fazem uso de seus sistemas de informação para esse gerenciamento. Devido à pouca difusão no país de padrões de interoperabilidade entre estes sistemas de gerenciamento, históricos médicos de pacientes, evolução de casos clínicos, estudos para prevenção de doenças, entre outros

aspectos de conduta na área, não são dispostos de forma clara para as equipes de saúde envolvidas, prejudicando o tratamento do paciente ou a saúde coletiva da população.

O uso inadequado da tecnologia da informação aplicada à saúde cumpre um papel fundamental nesse quadro. Sistemas desenvolvidos em plataformas heterogêneas, bases de dados não estruturadas, processos mal modelados, persistência de tecnologias ultrapassadas (principalmente no domínio da saúde pública, nossa área de aplicação) e pouca preocupação no desenvolvimento de interfaces de comunicação com as fronteiras da aplicação deram origem, nos dias atuais, a vários sistemas funcionando como verdadeiras caixas pretas nas mais diversas especialidades médicas existentes. Mesmo com a notória evolução no que tange à interoperabilidade e padrões, onde já encontramos soluções como HL7¹ (HL7, 2009), uso de XML e Web Semântica (Schweiger et al., 2005) e cenários de êxito na aplicação de técnicas de mineração de dados na saúde (Goodwin et al., 2003), não é errado afirmar que a correção de muitos dos problemas aqui apontados ainda é necessária a fim de que os sistemas de informação da saúde funcionem da forma adequada em relação ao seu enorme potencial de aplicação.

2.2.2 Aspectos Culturais

Algumas linhas de pesquisa, captam tópicos fundamentais dentro de uma linha sócio-técnica do trabalho de profissionais de saúde, complementando de forma mais concreta os avanços da informática médica e seus sistemas de informação. Visões como as de Berg (1999, 2001) e de Aarts et al. (2007), enfatizam o problema da amarração das práticas de trabalho desses profissionais a rígidos *workflows*, modelos ou descrições pré-fixadas que venham a engessar o processo. O trabalho de Pratt et al. (2004) também ressalta essa visão, descrevendo a importância da adoção de *workflows* flexíveis com a possibilidade do tratamento de exceções, muito comuns no cotidiano dos profissionais de saúde. Além disso, a compreensão global de todo o processo é fundamental já que quando um profissional entende todas as regras de um processo e como suas atividades se integram a esse fluxo, tanto na entrada como na saída de dados, tudo funciona de forma muito mais rápida, natural e com menos riscos de erro ou atraso.

Complementando, aspectos como processos de trabalho cooperativos ao invés do apontamento de tarefas discretas para indivíduos de forma isolada trazem um grande diferencial na melhoria no resultado final dos sistemas de informação em saúde. Por esses motivos, Xiao (2005) ressalta como é o importante o uso de objetos físicos como quadros, cadernetas, livros, uso de impressoras térmicas para adoção de etiquetas e muitos outros (como as cestas para armazenamento de amostras, que veremos em nosso estudo de caso) que representam artefatos colaborativos, para facilitar a comunicação entre os envolvidos

¹Protocolo internacional certificado pela ANSI para intercâmbio de dados eletrônicos em todos os ambientes da área de saúde, integrando informações de natureza clínica e administrativa.

no processo sem excluir e sim complementar a informatização de processos de trabalho cooperativos, que dinamizem ainda mais o fluxo da informação. Apesar da grande importância da modelagem formal de *workflows* destacada nesse trabalho, também será expressada a vantagem de uma flexibilidade nos modelos obtidos, cujas tarefas poderão ser automatizadas ou veiculadas a ações do usuário, envio de mensagens e até mesmo aspectos temporais.

2.2.3 Modelagem de Processos na Área de Saúde

O alinhamento dos aspectos técnicos e culturais, a fim de sincronizar os processos de negócio na saúde aos seus respectivos sistemas de informação é um dos principais desafios para as estratégias das organizações dessa área (Bush et al., 2009), já que estes processos tendem a mudar constantemente pelos mais diversos motivos, uma vez que tanto fatores internos (novos procedimentos, mudança na estrutura organizacional) como externos (integração com outros sistemas) podem forçar mudanças trazendo a necessidade de rápida adaptação a uma nova realidade para aqueles envolvidos no processo (Lenz & Kuhn, 2004). Processos de negócio na área de saúde necessitam ainda de uma cooperação e coordenação multidisciplinar como visto anteriormente, além de dependerem fortemente de iniciativas voltadas para uma eficiente gestão da informação.

Segundo Lenz & Reichert (2007), a dificuldade em desenvolver sistemas de informação que suportem corretamente o fluxo da informação nos processos da área de saúde, envolve inicialmente a identificação e conseqüentemente um tratamento diferenciado aos diferentes tipos de processo existentes, que são classificados como: processos organizacionais ou processos de tratamento médico. Dentro dos processos organizacionais, que lidam com as regras de negócio entre profissionais de saúde e suas unidades de trabalho é que fixaremos o foco desse trabalho.

Entretanto, além da importância dessa diferenciação entre os tipos de processo, considera-se a aplicação de técnicas de credibilidade para especificação e análise das regras e processos de negócio em um sistema de informação. Abordaremos assim nos próximos capítulos a pesquisa e aplicação dessas técnicas, com foco global no âmbito da saúde pública, especializando-se na gestão da saúde ambiental e suas conseqüências na saúde coletiva da população.

2.3 A Saúde Pública

Segundo Charles-Edward A. Winslow (Gostin, 2003), pode-se definir Saúde pública como a ciência de prevenir doenças, prolongar a vida e promover a saúde através do esforço da comunidade organizada para o saneamento do meio ambiente, o controle de infecções transmissíveis, a educação do indivíduo na higiene pessoal, organização

de profissionais de saúde e serviços relacionados ao diagnóstico precoce, tratamento preventivo ou cura de enfermidades, bem como o desenvolvimento da máquina social para garantir a todos um padrão de vida adequado para a manutenção da saúde.

Ao evidenciar questões organizacionais no universo da saúde pública, alguns tópicos são comumente apontados como gargalos no uso de seus sistemas de informação. Entre eles (Heeks, 2006):

- Em termos de tecnologia, unidades públicas de saúde são bem deficientes quando comparadas com a iniciativa privada.
- Muitas diferenças entre as regras de negócio das duas realidades trazem a necessidade de muitas customizações, que nem sempre são possíveis, quando são feitas compras de produtos de software que funcionam com sucesso fora da gestão pública.
- Capacitação deficiente dos funcionários com pouca habilidade no uso da informática aplicada à saúde trazem dificuldade do sucesso de implantação desses sistemas.

2.3.1 O Sistema Único de Saúde (SUS)

Desde o advento de sua criação através do relatório final da 8ª Conferência Nacional de Saúde¹, o Sistema Único de Saúde - SUS - se constitui como um dos maiores sistemas públicos de saúde no mundo (MS, 2009) tendo como missão principal oferecer acesso de forma integral, igualitária e universal aos serviços de saúde pública para toda a população brasileira. Em 1990, o Congresso Nacional aprovou a Lei Orgânica da Saúde (Lei nº 8080, de 19 de setembro de 1990) que oficialmente fundou o SUS.

2.3.2 Áreas de Atuação do SUS

Apesar do funcionamento do SUS possuir a mesma filosofia em todo o país, não podemos classificar de forma universal a nomenclatura das áreas que compõem seus serviços. Porém, apesar de várias diferenças na composição de setores nas três esferas, podemos identificar unidades organizacionais como:

- Atenção à Saúde: Área que envolve tudo relacionado ao cuidado da saúde do ser humano, incluindo ações de proteção, reabilitação e tratamento de doenças de diferentes tipos de complexidade. A Atenção à saúde atua ainda na gestão de assuntos relacionados com postos de saúde, hospitais, serviços de urgência e emergência, assistência farmacêutica e todos os outros com caráter de atendimento

¹A oitava edição da CNS em 1986, foi um marco na história da saúde pública no país e fonte principal para criação do capítulo sobre o assunto na Constituição Federal de 1988.

direto à população. Essa área divide seu foco em várias outras áreas como saúde da família, saúde da mulher, saúde do idoso, centros de hemorrede, doação de órgãos, saúde mental e vários outros.

- **Vigilância em Saúde:** Esta área se diferencia pela natureza mais preventiva do que de assistência, possuindo ainda fortes características de pesquisa e análises de indicadores de saúde trabalhando em ações de prevenção e combate a doenças transmitidas por vetores, doenças imunopreveníveis, controle de zoonoses, vigilância de doenças emergentes, epidemias, programas de imunização, vigilância sanitária, vigilância ambiental e várias outras. A área de vigilância em saúde, mais especificamente a de vigilância ambiental será o principal objeto de estudo desse trabalho.
- **Gestão Administrativa:** Questões que envolvam a gestão das partes que fazem funcionar a máquina do SUS são a principal fonte de preocupação de áreas como: auditoria e gestão financeira, integração e pactuação de metas, gestão participativa com membros da sociedade civil, contratos e convênios e outras atividades que promovam ligações com outros domínios como: informações demográficas, índices sócio-econômicos, entre outros.

A integração entre as ações de várias áreas e a coordenação de seus trabalhos nas três esferas de governo provocam a necessidade de uma modelagem muito precisa de todos os processos de negócio envolvidos. Muitos problemas, às vezes segmentados em várias unidades, poderiam ser estudados em conjunto de maneira muito mais coordenada.

2.3.3 O SUS no estado de Alagoas

Em se tratando da gestão estadual do SUS em Alagoas, podemos afirmar que sua estrutura se divide em quatro áreas principais, como pode ser observado na Figura 2.1. São elas:

- **Regulação, controle, avaliação e auditoria:** Área responsável por todo o acompanhamento, controle e avaliações em torno do uso do recursos financeiros do SUS por parte dos municípios;
- **Gestão e Participação Social:** Gerencia assuntos administrativos como contratos, convênios, editais de pesquisa em saúde, planejamento setorial e outras atividades similares;
- **Atenção à Saúde:** Setor de grande destaque e fundamental para o funcionamento do SUS com competências já destacadas na seção anterior;

- **Vigilância em Saúde:** A área de vigilância, também já destacada anteriormente, constitui o domínio de aplicação deste trabalho, que cobre as suas subáreas quase em toda a sua totalidade, como evidenciamos na figura 2.1.

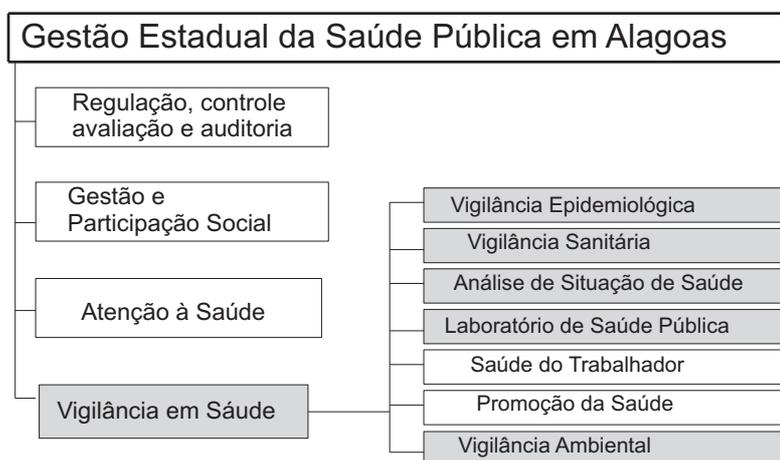


Figura 2.1: Estrutura da saúde pública no estado de Alagoas

2.3.4 Sistemas de Informação do SUS

Em tempos onde o uso eficaz da informação traz um grande diferencial para os trabalhos das empresas, é decisivo ter a exata noção de todo o ciclo de vida da informação que permeia os sistemas de saúde pública. Nesta subseção, abordaremos portanto, o universo dos sistemas de informação em saúde do SUS bem como suas ligações com indicadores de saúde que fazem uso dos dados manipulados por esses sistemas.

Nome	Descrição
CNES	Novos cadastros e atualizações dos dados de todos os estabelecimentos e profissionais de saúde conveniados ao SUS
SIAB	Gerenciamento aos serviços de atenção básica dentro do Programa de Saúde da Família.
SIM	Estudos de mortalidade, vigilância de óbitos.
HemoVida	Gestão dos serviços das hemorredes e produtos derivados.
SINASC	Monitoramento à saúde da criança.
Sispacto	Gerenciamento e Pactuação anual de indicadores de saúde
SINAN	Acompanhamento de surtos, epidemias e agravos de notificação obrigatória.
SIA	Gestão ambulatorial envolvendo procedimentos de saúde sem internação.
SIH	Gestão hospitalar envolvendo internações, morbidades e outros custos.
Sislab	Organização do sistema nacional de laboratórios de saúde pública.
SisAgua	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.
SisRegIII	Gerenciamento de todo complexo regulatório da rede básica à internação hospitalar.
Cartão SUS	Gerenciamento dos dados referentes ao Cartão Nacional de Saúde gerado e distribuído para a população e sua utilização por outros sistemas.

Tabela 2.1: Lista de alguns dos sistemas de informação do SUS

Na tabela 2.1 são apresentados alguns desses sistemas e suas descrições, onde é possível perceber o universo de dados coletados, processados e posteriormente usados por gestores em processos decisórios. Aspectos relacionados a esses sistemas de informação como: origem, forma de coleta e fluxo dos dados, periodicidade de atualização, entre várias outras variáveis, dão norte ao uso o conceito de indicadores de saúde para que toda essa informação seja disponibilizada e apoiada por dados válidos e confiáveis. O uso de indicadores, como será discutido a seguir, é uma medida que sintetiza informações relevantes sobre determinados atributos do estado da saúde pública bem como o desempenho de seus sistemas de informação e deve ser usada para a programação consciente de futuras ações de saúde pública.

2.3.5 Indicadores de Saúde Pública

A realização de ações públicas de saúde se baseia em indicadores pactuados dentro do Sistema Único de Saúde(SUS) entre as três esferas do Governo. Tais indicadores, conforme alguns exemplos na tabela 2.2, são provenientes de diversas áreas de atuação no domínio da saúde pública (Ripsa, 2008) e dependem de informações de diversos sistemas de informação que gerenciam atividades em setores tais como urgência e emergência, atenção básica, vigilância epidemiológica, vigilância sanitária, vigilância ambiental, gestão laboratorial, entre outros.

Indicador	Área
Realizar diagnóstico laboratorial de doenças exantemáticas - Sarampo e Rubéola	Laboratório Central
Índice de Contratualização de Unidades Conveniadas ao SUS nos Estados e Municípios	Gestão e Planejamento
Detectar Surtos de Doença Diarreica Aguda, por Meio da MDDA	Vigilância Epidemiológica
Número de Análises Microbiológicas para Avaliação da Qualidade da Água para Consumo Humano Realizadas	Vigilância Ambiental
Número Absoluto de Óbitos Neonatais	Atenção Básica

Tabela 2.2: Exemplo de alguns indicadores de saúde

Todos os dados e regras de negócio permeados por esses indicadores, mesmo em diferentes áreas desse domínio, possuem relação entre si, considerando a forma como são gerados, como fluem por todo o processo da rede pública de saúde e ainda como se relacionam com variáveis de outros domínios fora dessa área. Porém, problemas como a redundância da informação, a falta de interoperabilidade entre os sistemas e até mesmo a falta de sistemas de informação adequados nessas áreas impossibilita o avanço no uso eficiente dessas informações durante o processo de gestão da saúde pública.

Além desses problemas, existe ainda o agravante de que não foi desenvolvida uma sistemática para avaliar de forma ideal a eficácia desses indicadores, que possuem muitos instrumentos de medida (definição, método de cálculo, classificação populacional, área

de atuação, nível de pactuação, origem dos dados, entre outros) mas poucos resultados práticos, já que, muitos municípios onde os indicadores têm operacionalmente seus dados medidos, não fazem uso de todo o seu potencial, enviando relatórios para o nível estadual em caráter meramente burocrático, sem qualquer estudo referente aos processos de negócio que geraram os dados e qual conhecimento que os mesmos podem trazer, quando avaliados de forma mais criteriosa.

2.4 Conclusões

Uma vez evidenciados os principais gargalos no funcionamento dos sistemas de informação em saúde, uma das estratégias que podemos tomar de maneira eficaz, é a aposta na modelagem mais criteriosa dos processos de negócio que dão luz ao seu ciclo de vida. O estudo mais aprofundado das regras, tarefas, recursos e outras variáveis que influenciem nos fluxos de trabalho regidos por um sistema de informação, vai contribuir significativamente na eliminação de inconsistências, redundâncias, perda de informação e outros problemas, que podem causar grandes prejuízos financeiros e até mesmo ameaças à qualidade de vida da população. No próximo capítulo, será desenvolvido um estudo mais aprofundado referente à gestão de processos de negócio, analisando as principais técnicas para modelagem desses processos e os sistemas de informação mais indicados para controlar o fluxo de trabalho em uma organização.

Capítulo 3

Gerenciamento de Processos de Negócio

Esse capítulo tem como objetivo mostrar o diferencial de uma visão organizacional focada na gestão de seus processos de negócio, justificando a modelagem formal de *workflows* como um dos pilares da metodologia adotada em nosso estudo de caso. Inicialmente apresentamos o tema, conceitos básicos, propriedades e aplicações. Em seguida, mostramos as diversas técnicas utilizadas para modelagem de processos de negócio. Além de agrupá-las em categorias, é feito um estudo para avaliar o poder de análise das mesmas sob aspectos qualitativos e quantitativos. Na terceira e última parte, é realizado um estudo a respeito da importância dos sistemas de informação orientados a processo na gestão de tarefas, recursos e outras variáveis associadas ao fluxo de trabalho de uma organização.

3.1 Introdução

No atual estágio de globalização em que vivemos, uma política orientada a processos nas empresas passa a ser decisiva para garantir um nível de qualidade elevado de resultados, tanto sob aspectos operacionais como gerenciais. Assim, no intuito de identificar os principais fatores que levaram ao estabelecimento do conceito de processos na gestão moderna das organizações, será fundamental o estudo de tópicos como: pensamento sistêmico, melhoria contínua e gestão da qualidade. Além disso, a ligação multidisciplinar desses tópicos com áreas como matemática, ciência da computação, administração e sistemas de informação vai consolidar a linguagem utilizada durante todo esse trabalho que possui a área de saúde como plano de fundo mas poderia ter seu raciocínio aplicado a uma variedade de domínios que façam uso de processos de negócio na sua existência.

O início de um pensamento voltado a processos, remete à várias influências, épocas e áreas de estudo. Oliveira (2008) *apud* Capra (2003) cita as mudanças que ocorreram

na ciência durante o século XX, quando uma outra forma de pensar atingiu de forma independente várias áreas do conhecimento. Era a transição do chamado reducionismo¹ para o pensamento sistêmico, que preconiza a valorização do todo com uma importância maior que a soma de suas partes.

Essa forma de julgamento, passou a tomar ainda mais forma e se estabelecer como ciência a partir de trabalhos como a *Teoria Geral dos Sistemas* (Bertalanffy, 1975) e pesquisas de *Anthony Stafford Beer* que a partir de várias obras (Oliveira, 2008 *apud* Beer, 69), fomentou idéias sobre a aplicabilidade da Cibernética e do trabalho de *Bertalanffy* na gestão organizacional.

Nas décadas de 80 e 90, trabalhos como os de Michael E. Porter (Porter, 1996), baseados em termos como estratégia competitiva e cadeias de valor² sedimentaram esse tipo de pensamento e a visão dos processos se disseminou para diversas outras áreas (além da administração) e com diferentes enfoques. A participação da ciência da computação e dos sistemas de informação nesse contexto com o estudo da gestão dos processos de negócio e a especificação de *workflows* é o objetivo das próximas seções desse capítulo.

3.2 A Visão dos Processos de Negócio nas Organizações

Tem sido observado nas últimas décadas, apesar da grande revolução da reengenharia (Davenport & Stoddard, 1994), uma tendência onde a tecnologia da informação tem provocado grandes mudanças na forma como as empresas controlam o fluxo de seus dados e processos de negócio. A necessidade de um melhor uso da informação, tomadas de decisão em curto espaço de tempo, mudanças constantes nas regras de negócio, intervenção de processos ainda em andamento e a demanda para que os ciclos de vida de um processo sejam cada vez mais curtos tem desafiado recorrentemente a sobrevivência de diversas organizações. Isto tem provocado uma dedicação cada vez maior ao estudo do gerenciamento de processos de negócio por essas empresas.

3.2.1 A Área de Pesquisa

A gestão de processos de negócio também possui organizações dedicadas à formação, certificação de profissionais e definição de padronizações de comunicação, nomenclatura e vários outros fatores de interesse para a área especializada. Podemos citar como exemplo o BPMInstitute (BPMInstitute09, 2009) e a *Business Process Management Initiative* (BPMI, 2009) que se uniu recentemente à OMG (OMG, 2009) nas atividades dedicadas ao tema.

¹Termo dado em filosofia às teorias correlatas que afirmam que objetos, fenômenos e significados complexos pode ser sempre reduzidos, a fim de explicá-los, a suas partes constituintes mais simples.

²Conceito que representa o conjunto de atividades desempenhadas por uma organização desde as relações com os fornecedores e ciclos de produção e de venda até à fase da distribuição final

Entre as linhas de pesquisa e tendências observadas nos últimos anos podemos citar os estudos cada vez mais avançados dos sistemas de informação orientados a processo, com ênfase para os sistemas de *workflows* e suas derivações. Dentro dos anais de eventos internacionalmente conhecidos (BPM09, 2009), podemos citar tópicos como: Mineração e monitoramento de processos, gerenciamento dinâmico, uso de métodos formais para modelagem e análise, iniciativas de padronização, verificação, simulação, análise semântica e vários outros (Dustdar et al., 2008; Pernici & Weske, 2006).

3.2.2 Conceitos Básicos

Considerando a natureza multidisciplinar desse assunto, como preconiza Ko et al. (2009), que pode envolver conhecimento de áreas como a teoria da administração, ciência da computação, matemática, linguística, semiótica e até mesmo filosofia, existe uma grande confusão entre conceitos como processo, modelo de processo, gerenciamento de processos de negócio, gerenciamento de *workflows* e outros termos semelhantes utilizados na área, com características diferentes e muitas vezes complementares.

Vastas são as tentativas para estabelecimento de uma definição para o termo: processo de negócio (Lindsay et al., 2003). Dentre as várias propostas, destacamos o trabalho de Hammer & Champy (1994) onde é dito que um processo é um conjunto de atividades parcialmente ordenadas a fim de alcançar algum objetivo final. Aguilar-Saven (2004) define um processo de negócio como a combinação de um conjunto de atividades estruturadas em uma organização onde é descrito a sua ordem lógica, dependências e cujo objetivo é produzir um resultado.

Já a gerência de processos de negócio, segundo van der Aalst et al. (2003a), inclui métodos, técnicas e ferramentas que dão o suporte ao projeto, configuração, execução, gerenciamento e análise de processos de negócio operacionais envolvendo pessoas, organizações, aplicações, documentos e outras fontes de informação. Conseqüentemente, os softwares que dão suporte ao gerenciamento desses processos são denominados sistemas de gerenciamento de processos de negócio, os denominados BPMS. Em muitos materiais sobre assunto, inclusive, é muitas vezes ressaltado que a área gerência de processos de negócio pode ser considerada uma extensão da área de *workflows* e em vários momentos os dois conceitos acabam se sobrepondo, como mostra a figura 3.1 que exhibe a relação entre seus ciclos de vida.

O ciclo de vida de BPM³ criado por van der Aalst et al. (2003a) descreve todas as fases que dão suporte ao gerenciamento de processos de negócio. Na fase de *design*, os processos são projetados ou até mesmo refeitos, de acordo com as particularida-

³Usaremos os termos BPM (*Business Process Management*) e WfM (*Workflow Management*) para Gerenciamento de Processos de Negócio e Gerenciamento de *Workflows*, respectivamente, por motivo de simplificação

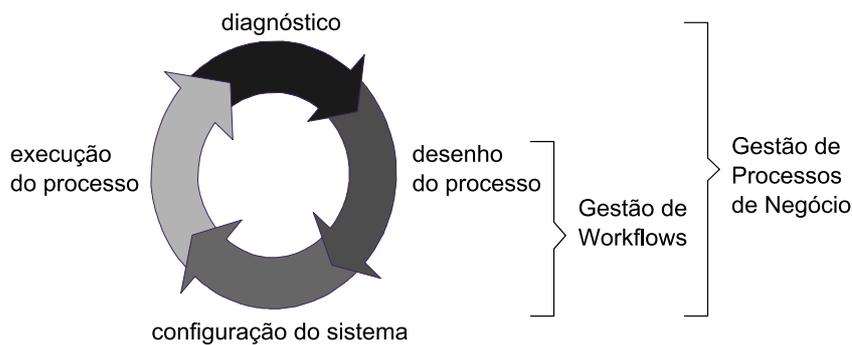


Figura 3.1: O ciclo de vida da gestão de processos de negócio comparado ao ciclo gestão dos *workflows*

des do cenário abordado. Já na configuração do sistema, o projeto da fase anterior é implementado através de sua configuração em um sistema de informação orientado a processos (como um sistema de gestão de *workflows*, por exemplo) e uma vez concluída essa configuração, a fase de execução marca o funcionamento dos processos pelo sistema previamente configurado. Na última fase do ciclo, é feita uma análise para que se identifiquem eventuais problemas no processo para sua correção ou ao menos uma otimização do diagnóstico obtido. A partir da interpretação da figura 3.1, fica evidenciado por van der Aalst et al. (2003a) que o grande foco nos sistemas de gerenciamento de *workflows* tradicionais está na parte inferior do ciclo de vida devido à pequena quantidade de ferramentas dessa natureza com suporte a funcionalidades de análise como verificação, validação e simulação de processos modelados.

Entretanto, apesar dessas diferenças, Ko et al. (2009) observou que muitos fabricantes ainda intitulam seus produtos de sistemas de gerenciamento de processo de negócio (BPMS), apesar dos mesmos continuarem com as mesmas características dos sistemas de gerenciamento de *workflow* tradicionais (WfMS), não suportando a fase de diagnóstico do processo. Essa estratégia se dá apenas pelo fato de que BPMS tem se mostrado, ao passar dos anos, um termo mais contemporâneo que o anterior sem necessariamente definir grandes mudanças. Já um outro ponto de vista que pode ser adotado para diferenciar os dois termos é a proposta de Hill et al. (2008) que vê BPM como uma disciplina na área de estudo de gestão enquanto que WfM é considerado uma tecnologia para gerenciamento do fluxos de trabalho encontrada em ferramentas para gestão de processos de negócio e suas ramificações. Uma vez que o objetivo desse trabalho é a especificação de *workflows* obtida a partir de uma metodologia para gestão dos processos de negócio, adotaremos a posição de que os dois conceitos são complementares.

3.2.3 Aplicações

Segundo pesquisas de Hill et al. (2008), ao fim do ano de 2006 o mercado de vendas de software para os sistemas de BPM alcançou cifras próximas de 1,7 bilhão de dólares,

sendo ainda apontado como possuidor da segunda maior taxa de crescimento na área de *middlewares* ⁴.

Essas estatísticas unidas a fatores como: fornecedores estáveis, adoção de tecnologias consolidadas, evolução de complexidade dos sistemas de informação e uma rápida aceitação por parte dos usuários fez com que o interesse em estudos e pesquisas sobre o assunto crescesse cada vez mais, levando ao surgimento de diversos tipos de aplicação do gênero nas áreas de administração, marketing, logística e outras ramificações.

Essa visão orientada a processos, é por fim concretizada com alguns exemplos, quando observamos as taxas de adoção em larga escala nas empresas de médio e grande porte dos sistemas ERP (Somers & Nelson, 2004), a evolução dos conceitos de atendimento ao cliente através de sistemas CRM (Cooper et al., 2008), o olhar otimizado de processos logísticos com os sistemas SCM para gestão de cadeia de suprimentos (Hendricks et al., 2007), a gestão eletrônica de documentos e a automação de processos de escritório, que deu origem aos sistemas de *workflow*. Estes últimos, idealizados inicialmente apenas para esse tipo de ambiente e que hoje se apresentam nas mais diversas áreas de aplicação, como será o caso da saúde pública, nosso estudo de caso.

3.3 Modelagem e Análise de Processos de Negócio

De acordo com List & Korherr (2006), a modelagem de um processo de negócio possui três diferentes objetivos: descrição, análise e execução. A modelagem para descrição de um processo é necessária para comunicar, definir ou compartilhar suas regras com outra pessoa ou um grupo de pessoas. A modelagem de um processo para fins de análise é utilizada para inverter a ordem de suas atividades, mudar responsabilidades ou até mesmo melhorar suas regras de negócio. Por fim, a modelagem de um processo para sua execução consiste em converter suas regras para um linguagem de código executável. Já segundo Aguilar-Saven (2004), a modelagem de processos de negócio possibilita um comum entendimento e análise do processo e o modelo obtido pode oferecer uma melhor interpretação de suas regras. Assim, a modelagem de um processo pode ser útil em diferentes fases de um projeto de BPM: Para projetar a interação entre um sistema de informação e seus usuários, para analisar processos existentes com o objetivo de melhorar suas práticas de trabalho ou para implantar novos processos oferecendo suporte para sua execução automática ou semiautomática de acordo os objetivos do projeto.

⁴*Middlewares* são tipos de software que fazem a mediação e integração entre softwares distintos e heterogêneos, de forma que os desenvolvedores de ambas as partes não tenham que se preocupar com diferenças de protocolo de comunicação, sistema operacional e outros tipos de plataforma

3.3.1 Uma Visão Comparativa

Dentre várias maneiras já criadas para classificar as principais abordagens de modelagem de processos de negócio, adotamos a visão de Vergidis et al. (2008), que propõe o uso de três conjuntos (demonstrados na figura 3.2 através de um diagrama de Venn) para essa classificação. O primeiro conjunto faz menção a modelos de processo visuais ou baseados em diagramas, o segundo corresponde a modelos que fazem uso de um grande embasamento formal ou matemático, enquanto que o terceiro conjunto contém linguagens de processo (normalmente baseadas em XML) que suportam a modelagem e execução dos processos. Descreveremos assim, algumas das técnicas inseridas em cada um dos conjuntos e sobretudo o significado da intersecção dos conjuntos supracitados.

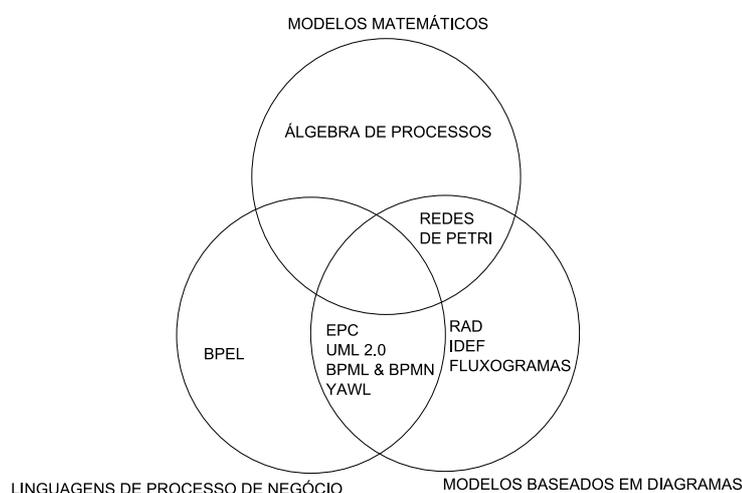


Figura 3.2: Classificação de modelos de processo de negócio (Vergidis et al., 2008)

3.3.2 A Simplicidade dos Modelos Visuais

Quando procuramos por estudos de caso envolvendo a modelagem de processos de negócio, é bem comum encontrarmos a adoção das técnicas com propriedades visuais como os fluxogramas, UML, BPMN e várias outras criadas para resolver um passado carente de notações padronizadas. Uma breve descrição de algumas dessas técnicas com a respectiva aplicação na modelagem de processos de negócio, será feita a seguir, justificando sua simplicidade e facilidade de uso.

- Fluxogramas: Considerada uma das primeiras técnicas para modelagem de negócio, com origem na década de 60 e vantagens como a habilidade de mostrar a estrutura geral de um sistema, traçar o fluxo da informação e do trabalho do processo junto com suas principais etapas e pontos decisórios (Giaglis, 2001). Com a evolução da complexidade dos processos de negócio, que passaram a envolver situações como

paralelismo, temporizadores, produção de artefatos, perfis de acesso e várias outras nuances, os fluxogramas se tornaram uma técnica menos usada, devido a seus recursos limitados de representação, como pode ser observado na figura 3.3 que ilustra uma modelagem de negócio utilizando todos os elementos existentes em sua notação.

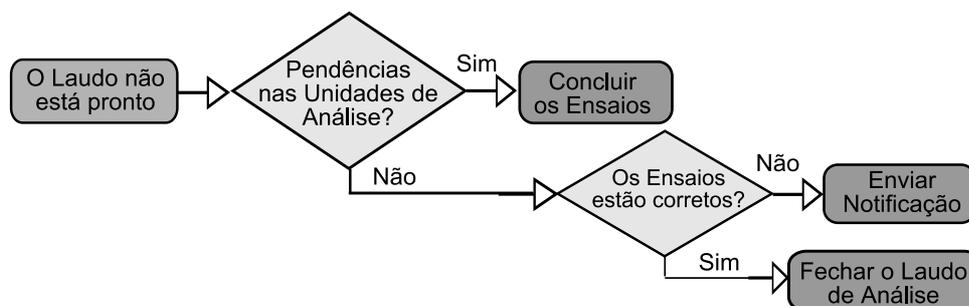


Figura 3.3: Um exemplo de aplicação do fluxograma

- BPMN - Business Process Modelling Notation: Representação gráfica usada para especificar processos de negócio em *workflows*. É uma referência mundial para modelagem de processos, baseando-se nos antigos fluxogramas e nos diagramas de atividades de UML. BPMN é considerado por muitos a evolução dos diagramas de atividades, pois além de oferecer uma linguagem em comum para usuários da área técnica e de negócio, a notação tem como uma de suas características a possibilidade de mapeamento dos gráficos gerados para linguagens de execução de processos, como é o caso da BPML e a *Business Process Execution Language* (BPEL). A figura 3.4 mostra um exemplo simplificado da notação com alguns de seus elementos.

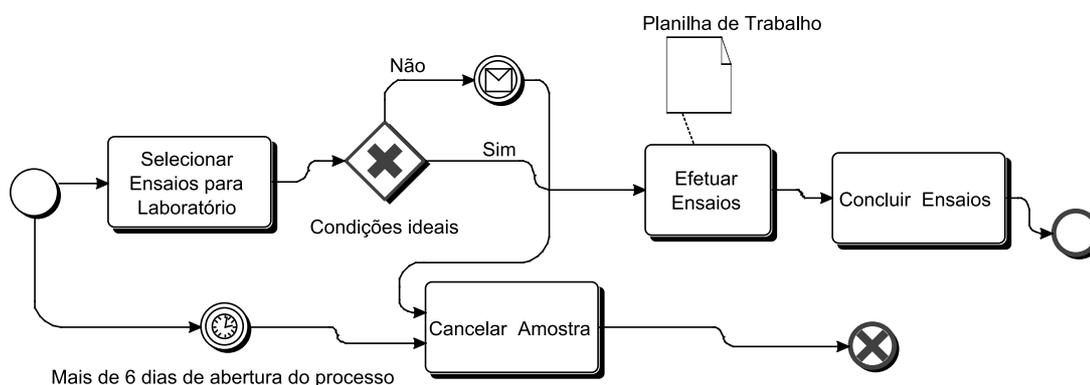


Figura 3.4: Processo de Negócio Modelado com BPMN

- UML - *Unified Modelling Language*: A Linguagem de Modelagem Unificada surgiu em meados da década de 90 como união das três mais populares metodologias de modelagem orientada a objetos (OMT de Jacobson, OOSE de Rumbaugh e o

método de Booch) entre os profissionais da área de desenvolvimento de software (Booch et al., 2004). Entre os diversos diagramas existentes até a versão mais recente da linguagem (OMG, 2009), destacamos o diagrama de atividades para a modelagem de processos de negócio, com suporte a representação de fluxos, estruturas de decisão, paralelismo e papéis dentro de uma organização. A figura 3.5 traz um esboço de uma modelagem de processos de negócio com este diagrama na área de gestão de amostras para análise em uma unidade laboratorial. Este esboço ainda será ampliado e discutido em nosso estudo de caso.

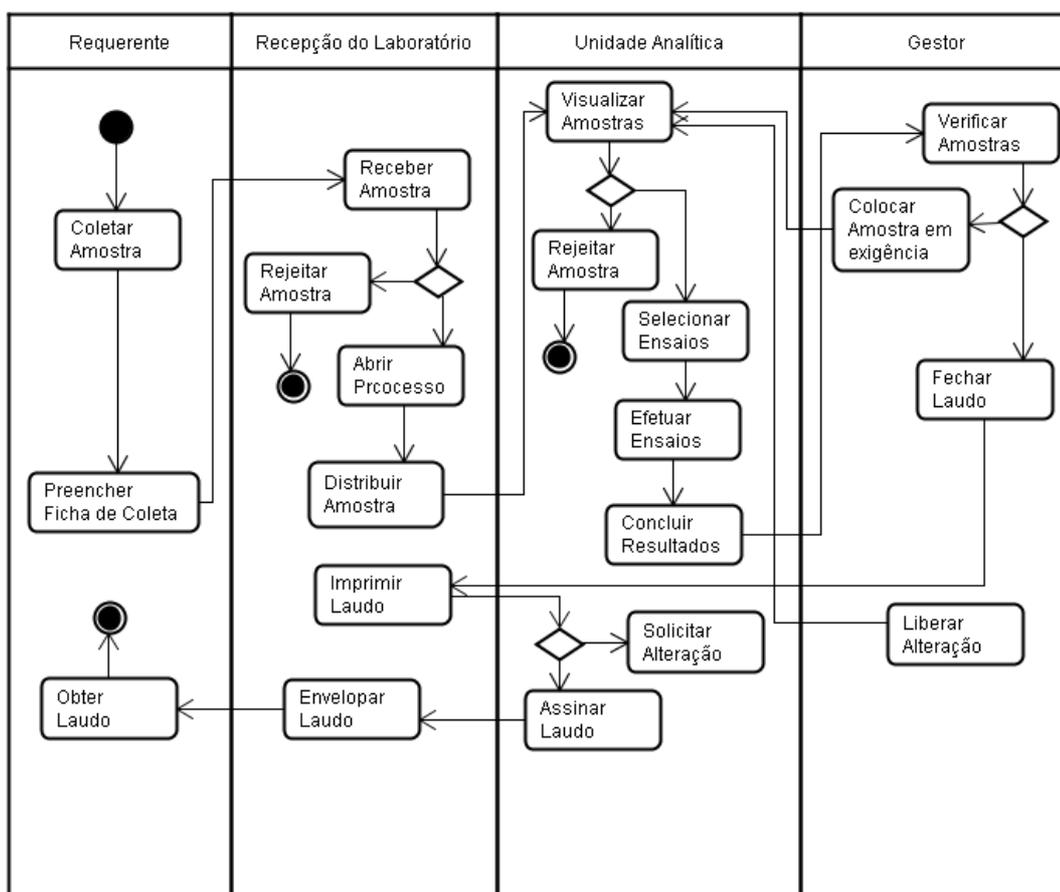


Figura 3.5: Modelagem de Processos de Negócio com UML

- *EPC - Event Driven Process Chains*: O Modelo de cadeias de processo dirigidas por eventos é formado por uma linguagem gráfica para descrição de processos de negócio introduzida no ano de 1992 pelos pesquisadores Keller, Nüttgens e Scheer com grande aceitação no mercado mundial (van der Aalst, 1999). EPC é usada por algumas das maiores ferramentas na área de engenharia de processos, estando muitas vezes associada à implantação de sistemas ERP líderes no mercado como o SAP/R3 (SAP, 2009) ou a ferramentas para modelagem de processo com larga adoção nessa área (ARIS, 2009). Essa linguagem possui ainda como característica sua natureza semi-formal que dá origem a diversos estudos para conversão de

seus elementos para formatos mais precisos, como por exemplo as redes de Petri (Dehnert & van Der Aalst, 2004; van Dongen et al., 2005), no intuito da aplicação de processos de análise em projetos originalmente modelados em EPC. Como podemos observar pela figura 3.6, os elementos utilizados pela linguagem para representação de processos são as funções, eventos e conectores lógicos.

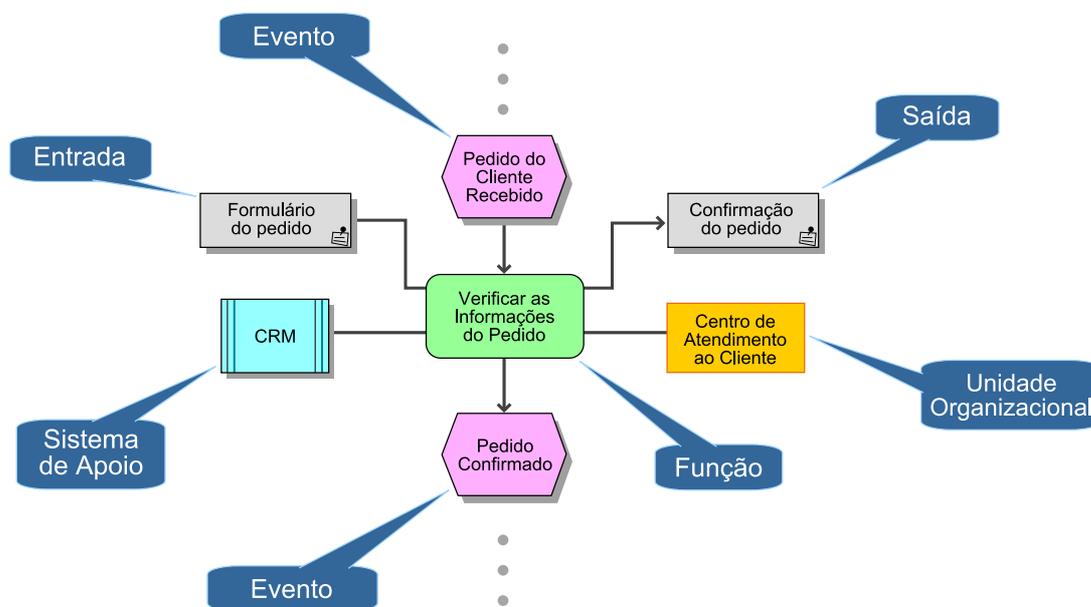


Figura 3.6: Elementos da linguagem para modelagem EPC: Event Process Chain

Apesar das inspeções em diagramas darem margem a interpretações subjetivas, com conclusões que dependem fortemente das habilidades do analista de negócio, metodologias com essa forma de abordagem são largamente usadas nos ambientes de processo de negócio por conta de seu forte apelo visual. Entretanto, a grande maioria dessas soluções possui como aspecto negativo, o fato de que normalmente se baseiam apenas em sua notação gráfica, com pouco ou nenhum suporte a uma semântica formal e consequentemente, raras informações de teor quantitativo para auxiliar na análise mais aprofundada do processo de maneira precisa e confiável. Esse tipo de necessidade é que dá vazão ao uso de modelos matemáticos para modelagem desses processos, como veremos a seguir.

3.3.3 A Consistência e Complexidade dos Modelos Formais

Modelos formais são aqueles onde as regras de um processo são definidas de forma rigorosa e precisa, de maneira que processos matemáticos possam extrair novos conhecimentos e tirar conclusões sobre o que foi modelado (Vergidis et al., 2008). Uma das grandes vantagens dos modelos formais é que as propriedades dos processos modelados podem ser verificadas sem qualquer tipo de ambiguidade, oferecendo um grande potencial para aplicação de várias técnicas de análise. Podemos citar como alguns exemplos:

a aplicação da lógica proposicional na modelagem e análise de *workflows* (Cravo, 2010), a álgebra de processos e suas variações para descrição da arquitetura e comportamento de sistemas (Wang, 2002; Baeten, 2005)

Quando comparadas aos modelos visuais, poucas soluções nesse grupo dispõem de recursos para desenho de processos com características qualitativas típicas: pontos de decisão, *loops*, paralelismo ou dependência entre fluxos. Assim, a adoção de soluções baseadas unicamente em notações matemáticas complexas não são muito populares entre a maioria dos analistas de negócio e muito menos entre as outras partes envolvidas nas etapas de especificação de um processo.

O cenário retratado até o momento, revela características complementares entre as técnicas de modelagem já vistas, uma vez que a insuficiência de uma é coberta pela grande vantagem da outra e vice-versa. Sendo assim, seria ideal para a modelagem de processos, a utilização de ferramentas com as vantagens de ambos os conjuntos: o poder de expressão dos modelos visuais e a precisão dos modelos matemáticos. Essa necessidade justifica o número de alternativas baseadas em grafos (Basu & Blanning, 2000; Baresi & Pezze, 2000; Cravo, 2010), o que conseqüentemente nos leva às redes de Petri, a solução adotada nesse trabalho. Redes de Petri são um exemplo de técnica para modelagem de processos que combina as vantagens dos modelos com diagramas, por conta de possuir simultaneamente um vasto leque de recursos visuais, junto a uma origem fundamentada em bases matemáticas (Murata, 1989).

3.3.4 O Uso de Linguagens na Execução de Processos

Seguindo a visão comparativa de Vergidis et al. (2008), uma terceira (e mais recente) técnica de modelagem de processos de negócio se originou como uma tentativa de enfrentar a complexidade dos modelos formais dando maior coerência e poder de análise sobre os processos em foco. Essa abordagem, utiliza linguagens de processo, normalmente baseadas em XML, para modelar e traduzir modelos conceituais em código executável, aumentando a eficiência na implementação de sistemas de *workflow*. Além disso, a utilização em conjunto de várias ferramentas que complementam a modelagem e gestão do processo de negócio é facilitada pela manipulação de arquivos nos formatos interoperáveis oferecidos por essas linguagens.

Podemos citar como alguns exemplos dessas linguagens: a linguagem de execução de processos de negócio para *Web Services* (BPEL4 WS, também conhecida por BPEL), a linguagem para modelagem de processos de negocio BPML (do mesmo grupo responsável pela notação BPMN, vista na seção anterior) e YAWL ⁵ (*Yet Another Work-*

⁵Uma menção mais destacada a YAWL deve ser feita por conta de seu poder de representação na área de *workflows*, que veio a suprir até mesmo algumas deficiências nos sistemas baseados em redes de Petri mas que não influenciam nos objetivos desse trabalho

flow Language), com o intuito de oferecer suporte na implementação de padrões de execução de *workflows* não triviais e normalmente não suportados por vários dos sistemas de gerenciamento (van der Aalst & ter Hofstede, 2005).

Por fim, complementando essa visão comparativa, podemos afirmar que a grande contribuição do modelo orientado a linguagens é o poder de conversão de modelagens de processo para códigos executáveis. Esta conversão ocorre, desde o intercâmbio de arquivos entre ferramentas que utilizam o mesmo formato para desempenhar diferentes funções, até a implementação de sistemas a partir dessa especificação. A tabela 3.1 exhibe algumas das técnicas estudadas e seu respectivo modelo de tradução.

Linguagem	Linguagem de execução
Diagramas de Atividade - UML	BPEL
BPMN	BPEL, BPML
EPC	EPML
Redes de Petri	PNML

Tabela 3.1: Técnicas para modelagem de processo e suas respectivas linguagens de execução

Ao sumarizar tantas técnicas de modelagem de processos, idealizamos uma metodologia para gerenciamento de processos que utilize todos os artifícios dos três conjuntos mostrados nessa seção de maneira comparativa. Conforme mencionado anteriormente adotaremos as redes de Petri como solução principal desse projeto mas ainda serão utilizadas pequenas soluções complementares que fazem uso de linguagens baseadas em XML para implementação de atividades importantes no ciclo de vida do *workflow* modelado, principalmente na fase de diagnóstico, como veremos a seguir ao tratarmos das alternativas de análise nesse tipo de cenário.

3.3.5 Os Diferentes Tipos de Análise

Diante de uma necessidade cada vez mais crescente de investigação de propriedades que não são facilmente detectadas, o uso de diversos tipos de análise sob modelagem de processos, vem sendo cada vez mais obrigatório. Quando observamos algumas dessas técnicas, novamente agrupadas segundo a perspectiva de Vergidis et al. (2008), confirmamos pela figura 3.7 a limitação (já mencionada anteriormente) dos modelos baseados em diagramas, que restringe suas técnicas de análise a inspeções visuais que, em muitos casos, se baseiam até mesmo em processos intuitivos. Assim, quanto mais evolui o grau de dificuldade nas regras de um processo, menos serão indicadas as práticas exclusivamente baseadas nesse tipo de modelo.

Por um outro lado, quando nos referimos a técnicas com semântica formal e bases matemáticas, diversos tipos de análise estarão disponíveis, conforme exhibe a mesma figura 3.7, quando relaciona mecanismos como a validação, verificação e análise de

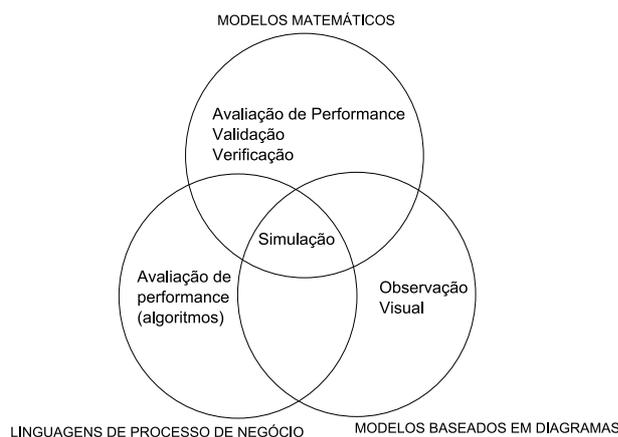


Figura 3.7: Tipos de análise e as técnicas para modelagem de processo (Vergidis et al., 2008).

performance. Uma breve descrição de cada uma dessas alternativas de análise, será vista a seguir.

- Validação: Testa se o processo está se comportando dentro do esperado, a partir de um contexto específico.
- Verificação: Estabelece a corretude do que foi especificado para o processo, verificando se o sistema está livre de erros lógicos e, ao contrário da validação, funcionando independente de qualquer contexto específico.
- Análise de Performance: Avalia a habilidade em atender requisitos de performance, níveis de serviço, utilização de recursos e outros fatores quantitativos.

Ao analisar a figura 3.7, destacamos o conceito de simulação, que se faz presente na intersecção dos três grupos usados como parâmetro, podendo ainda envolver todos os tipos de análise que foram listados anteriormente. Simulações são técnicas assistidas por software que, além de oferecer recursos qualitativos, fazem uso de linguagens executáveis para apresentar resultados visuais nas mais diversas formas de apresentação como gráficos, estatísticas e até mesmo *dashboards*⁶ (Liang & Miranda, 2001) para oferecer ao usuário informações decisivas com vários níveis de granularidade para otimização dos processos da empresa. Muito ainda será tratado nesse trabalho sobre essas técnicas e a contextualização de todas elas ao nosso estudo de caso em capítulos posteriores, quando apresentaremos os sistemas de *workflow* baseados em redes de Petri.

⁶Termo utilizado para representar uma tela composta por um painel de indicadores nos mais diversos formatos onde se associam variáveis a serem monitoradas através de gráficos que mostram sua evolução. No contexto de gestão de processos de negócio, os *dashboards* são o produto final da fase denominada BAM - *Business Activities Monitoring*.

3.4 Sistemas de Informação Orientados a Processo

Dando prosseguimento à gestão de processos de negócio, iniciamos aqui uma análise dos principais sistemas de informação que focam, de alguma forma a visão orientada a processos. Enquanto que algumas das principais fontes de pesquisa na área (Stair & George, 2006; O'Brien, 2004) definem esses sistemas como *sistemas de informação de negócio*, preferimos o termo utilizado por van der Aalst et al. (2007a): *Process-Aware Information Systems* (PAIS), os sistemas de informação orientados a processo.

Podemos definir como um PAIS, um sistema (genérico ou específico) orientado por processos explícitos cuja modelagem pode ser usualmente gráfica e que possui suporte para gerenciar vários casos, integrar dados, processos inter-organizacionais, sistemas legados e automatizar funções a fim de oferecer funcionalidades para análise do processo adotado com o objetivo de melhoria, auditoria e eventuais iniciativas de reengenharia dos mesmos. No decorrer dos anos, a complexidade desses sistemas cresceu e se consolidou em diversos formatos, por conta da aplicação e customização em diversas áreas de atuação. Nesta seção, desenhamos um breve cenário desses sistemas a fim de complementar a fundamentação teórica de nosso trabalho.

3.4.1 Histórico e Evolução dos Sistemas de Informação

Para que se entenda melhor a relevância dos sistemas de informação orientados a processo, utilizamos uma abordagem de van der Aalst et al. (2003a) que traçou uma perspectiva histórica dos sistemas de informação de uma forma geral e suas tendências ao longo dos anos, dividindo-os em camadas, como mostra a figura 3.8. Na primeira camada, ao centro, encontramos o sistema operacional cuja missão é proporcionar o funcionamento do hardware. A segunda camada consiste aplicações gerais que podem ser utilizadas em várias empresas como planilhas eletrônicas ou editores de texto, por exemplo. A terceira camada representa aplicações restritas a um domínio específico, como sistemas de gestão de recursos humanos, sistemas de *Callcenters*, entre outros. Por fim, a última camada consiste nas aplicações desenvolvidas sob medida para a realidade de uma única organização, desenvolvida de maneira customizada. Dentro dessa perspectiva, três tendências foram observadas pelo autor, ao passar dos anos. São elas:

- Mudança da programação para a montagem de componentes: Nos anos 60, as camadas dois e três eram praticamente omitidas e isso fazia com que os sistemas de informação fossem desenvolvidos no topo de sistemas operacionais de pequeno porte com funcionalidades limitadas. Assim, como na época não existiam aplicações genéricas ou restritas a um domínio específico, esses sistemas tinham de se transformar em aplicações com alto grau de customização adequadas apenas

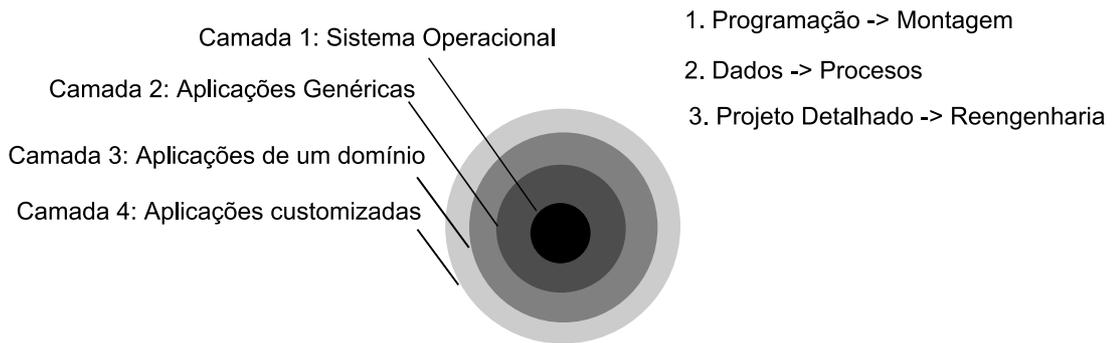


Figura 3.8: Tendências relevantes para a área de gerenciamento de processos

para escopo aos quais foram modeladas. Com o tempo, as outras camadas passaram a ser desenvolvidas e os círculos mostrados na figura 3.8 passaram a crescer cada vez mais, absorvendo funcionalidades inerentes a cada um deles. Assim, o desenvolvimento de sistemas mais complexos, passou a colocar ênfase na montagem de processos de negócio ao invés de se pensar unicamente na codificação de módulos individuais. O desafio passou para a visualização de cada peça na montagem de um quebra-cabeças correspondente às quatro camadas mostradas.

- Mudança da ênfase nos dados para os processos: Nas décadas de 70 e 80 o principal foco da área TI estava em armazenar e retornar informação e com isso, a modelagem de dados era a tarefa inicial para o desenvolvimento de qualquer sistema de informação. A modelagem de processos de negócio era geralmente negligenciada e tais processos tinham que se adaptar à modelagem obtida. Tendências como essa trouxeram portanto uma nova visão com o ênfase em gerenciamento dos processos, por parte dos engenheiros de sistema.
- Evolução do projeto detalhado para a reengenharia dos processos: Por conta da Internet junto com a evolução de seus padrões, sistemas de informação passaram a ser tornar cada vez mais voláteis e com isso, poucos eram desenvolvidos a partir do zero. Como resultado, aplicações já existentes passaram a ser cada vez mais aproveitadas em novos projetos e o desenvolvimento orientado a componentes trouxe uma natureza mais dinâmica no ciclo de vida do software.

As três tendências observadas no trabalho de van der Aalst et al. (2003a) oferecem portanto uma evolução histórica dos sistemas de informação, apresentando-se assim como aplicações genéricas e isoladas que residem na segunda camada da figura 3.8 ou como componentes integrados em aplicações de domínio específico, aqueles localizados na terceira camada. No contexto específico dos sistemas de informação orientados a processo, o principal exemplo de sistemas residindo na segunda camada são os sistemas de gerenciamento de *workflow* e em relação à terceira camada, podemos citar os sistemas de gerenciamento de cadeias de suprimento (SCM), sistemas de relacionamento com

o cliente (CRM), sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP) e outras derivações. Ao observarmos em diversas pesquisas, que os principais sistemas ERP do mercado usualmente oferecem um módulo de *workflow*, corroboramos essa visão de estreita relação entre essas camadas e a participação destacada dos sistemas de workflow nos outros sistemas orientados a processo, vistos logo a seguir.

3.4.2 A Visão *Back-Office* dos sistemas ERP

O planejamento de recursos empresariais (*Enterprise Relationship Management*) é definido por O'Brien (2004) como um sistema inter-funcional que atua como uma estrutura para integrar e automatizar processos de negócio, realizados pelas funções de produção, logística, distribuição, contabilidade, finanças e de recursos humanos de uma empresa. O programa ERP é assim, uma família de módulos de software que dá suporte as atividades orientadas a processos internos e fundamentais de uma organização.

De acordo com Cardoso et al. (2004), a origem dos ERP pode ser remontada historicamente para antes mesmo dos anos 60, quando o foco dos sistemas de informação organizacionais era o gerenciamento de inventários. Na década seguinte, ocorre a transição para os chamados MRP (*Material Requirements Planning*), que ajudaram a traduzir eventuais cronogramas de produção no planejamento de matérias-primas necessárias para os negócios da empresa. Logo em seguida, a década de 80 trouxe a evolução desse conceito: os MRP-II que envolvia a otimização completa de todo o processo de produção incluindo o gerenciamento de outras áreas como as finanças, recursos humanos e gerenciamento de projetos. Esses avanços continuaram até os dias atuais onde essa tecnologia foi renomeada para *ERP - Enterprise Resource Planning* ou Sistemas integrados de gestão empresarial, com vários exemplos de sucesso (SAP, 2009) aplicados nos mais diversos domínios como: indústria automotiva, defesa e espaço aéreo, engenharia e construção, eletrônica, telecomunicações, gestão da saúde, entre outros.

Não obstante as similaridades entre sistemas ERP e sistemas de *workflow*, onde ambas as soluções focam na automação de processos de negócio, transferência de dados e compartilhamento da informação através de uma organização, existem diferenças cruciais entre os mesmos. Os dois tipos de sistema até possuem como objetivo a resolução de problemas semelhantes, mas as abordagens técnicas para resolvê-los são bem diferentes, como mostra a tabela 3.2.

A escolha correta entre a implantação de sistemas de *workflow* ou de sistemas ERP é um passo importante a ser tomado por qualquer organização. Neste trabalho, com foco dedicado ao estudo dos *workflows*, a intenção de abordar os sistemas ERP tem dois objetivos: O primeiro, deixar claro os cenários que aparentemente se apresentam propícios à implantação de um *workflow* mas são mais indicados aos sistemas ERP, já que o grande número de semelhanças entre as duas soluções, pode levar a decisões

Critério	Sistema de Workflow	Sistema ERP
Escopo do domínio	Processos customizados; Domínios dinâmicos; Sem configurações para internacionalização	Processos embutidos; Domínios estáticos; Pronto para internacionalização.
Escopo Técnico	Orientado a processos; Suporte a <i>workflows</i> envolvendo humanos, aplicações de TI e workflows transacionais ; Ambientes heterogêneos e autônomos.	Orientado a dados; Processos transacionais; Ambientes homogêneos com infraestrutura de dados em comum.
Desenvolvimento	Código gerado automaticamente ou fortemente baseado em codificação; Abordagem <i>bottom-up</i> ; Pode precisar de conversão de dados.	Baseado em componentes de prateleira; Abordagem <i>top-down</i> ; Requer conversão de dados.

Tabela 3.2: Comparação entre Sistemas de Workflow e ERP

equivocadas que provoquem gastos desnecessários para a empresa. Em segundo lugar, além distinguir as diferenças entre *workflows* e ERPs, também é importante conhecer as semelhanças e aspectos complementares que favoreçam a adoção conjunta dos dois sistemas, uma vez que vários ERPs possuem módulos de *workflow* e muitos sistemas de *workflow* puros podem se integrar com ERPs através de suas interfaces de comunicação.

Além desses fatores, motivações em um contexto maior, a gestão de processos de negócio, nos levam a relacionar os sistemas de *workflow* com os ERPs e outros tipos de sistema orientados a processo com visões mais avançadas e aplicadas em ainda mais específicas. Enquanto que os ERPs focam a gestão de processos internos, o relacionamento de processos externos com clientes, fornecedores, pacientes (ou até mesmo com a população, no caso de órgãos públicos) e sua ligação com os sistemas de *workflow* levam ao nosso próximo assunto.

3.4.3 A Evolução e Visão Aplicada dos SCM e dos CRM

A adoção de sistemas de gestão de cadeias de suprimento, os denominados SCM (*Supply Chain Management*) está sendo avaliada pelas companhias de iniciativa pública e privada como uma iniciativa altamente estratégica em suas iniciativas de melhoria em seus processos de gestão. A lentidão de diversas redes de suprimentos, devido à etapas desnecessárias e estoques excessivos, torna cada vez mais urgente (principalmente em organizações de grande porte e missão crítica) a implantação de sistemas dessa natureza, que além de informatizar e modelar os processos de negócio, podem também provocar uma melhoria na coordenação entre os agentes do processo dessa cadeia.

Embora a iniciativa privada possa dar mais exemplos de uso do SCM em prol da reestruturação das relações entre fabricantes com seus fornecedores, distribuidores e varejistas, a gestão pública não fica fora desse contexto pois também precisa gerir seus recursos da melhor maneira possível e justamente a saúde pública traz um dos melhores exemplos dessa aplicação fora da área privada. A gestão hospitalar, pode certamente ser considerada uma das formas mais complexas de organização humana a se administrar,

cujo SCM tem que ser desenvolvido para agregar valores acima da média em relação às outras modalidades de prestação de serviço (Souza & Liboreiro, 2006). Um sistema SCM de gestão de hospitais pode envolver regras e fornecedores das mais diversas áreas, como farmácia, laboratório, alimentos, limpeza, segurança e outros que variem de acordo com a dimensão do complexo hospitalar.

Em complemento a visão dos SCM, os sistemas CRM também visam estimular melhores fluxos de trabalho na integração do ambiente externo com os processos da empresa. Nesse caso, a gestão de relacionamento com o cliente, também chamada de *front-office* (ou linha de frente) aplica a visão orientada a processos nas áreas de marketing e vendas, informatizando as atividades envolvidas nos processos de negócio desses setores. Para o caso de órgãos públicos, o acrônimo CRM tem evoluído para o benefício do cidadão (*Citizen Relationship Management*) e já apresentado casos de sucesso que comprovam essa possibilidade (King, 2007; Pan et al., 2006). Por fim, afirmamos que a listagem e descrição do potencial e riqueza dos sistemas orientados a processo se fez necessária para enaltecer ainda mais a importância dos workflows, uma vez que é notório o fato que todos os sistemas mencionados possuem relações fortíssimas com os sistemas de workflow e, em alguns casos, é correto até mesmo afirmar que alguns deles simplesmente não existem sem essa tecnologia, vistas com detalhes no capítulo seguinte.

3.4.4 EAI - *Enterprise Application Integration*

Uma vez que explorado o universo dos sistemas orientados a processos, poderíamos nos perguntar como seria a realidade de uma empresa que fizesse uso de todos (ou ao menos de vários) os tipos de sistemas mencionados nesta seção. Seria correto afirmar que a integração entre esses sistemas, mesmo que atendendo à segmentos distintos da corporação, é cada vez mais obrigatória nos dias de hoje? A integração dos processos gerenciados por organização surge como um requisito cada vez mais crítico na era da informação. O conceito de sistemas EAI (*Enterprise Application Integration*) possibilita a interconexão de vários tipos de aplicações de negócio e permite que os usuários moldem seus processos de forma integrada e contínua, propiciando um serviço de *middleware*, que executa a coordenação e a conversão de dados, a comunicação de aplicações e serviços de mensagens, além do acesso às interfaces das aplicações envolvidas (O'Brien, 2004).

Softwares EAI podem integrar aplicações de acesso externo aos domínios da empresa às suas aplicações internas, fazendo com que estas funcionem de forma coerente e integrada. Podemos citar como exemplo, na área da saúde pública, como a integração da gestão dos contratos e convênios com fornecedores e os serviços oferecidos para a população pode ser decisiva e até mesmo salvar vidas em setores como a assistência farmacêutica, responsável pelo fornecimento de medicamentos controlados e de alto custo para hospitais ou diretamente ao paciente. Laboratórios podem descobrir, através de

suas análises, informações que orientem uma maior capacitação de seus analistas ou de agentes de saúde que fazem o trabalho de campo. Esse tipo de visão é fundamental para empresas que queiram crescer e mesmo que o conceito de EAI não seja aplicado diretamente nesse estudo de caso, a visão sistêmica anunciada nesse capítulo consolida esse posicionamento, como mostra a figura 3.9.

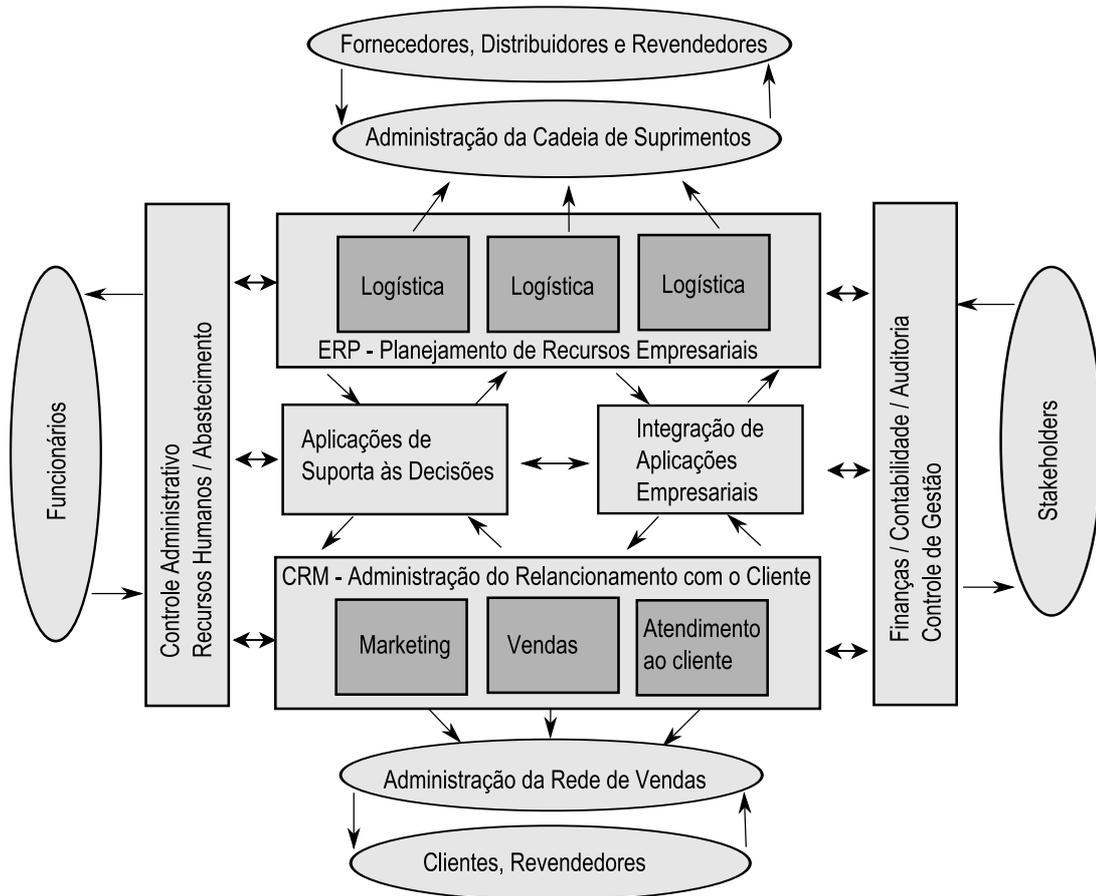


Figura 3.9: Arquitetura dos Sistemas de Negócio e seus Inter-relacionamentos

3.5 Conclusões

Uma visão sistêmica, com foco na gestão dos processos de negócio pode ser considerada como um diferencial e fator decisivo para grau de excelência dos resultados de uma organização. De acordo com o grau de complexidade das regras, os atores envolvidos e a dinâmica da área a ser modelada, uma modelagem de negócio criteriosa vai trazer muito mais solidez e segurança para a execução e evolução do que foi projetado e posteriormente implementado.

Para que a modelagem desses processos seja feita da melhor maneira possível identificamos diversas técnicas a serem usadas, com vantagens e desvantagens. Independente da técnica adotada buscaremos em nossos estudos uma abordagem que equilibre a fácil

comunicação dos modelos baseados em diagramas, junto com a precisão de modelos formais, além de ressaltar as facilidades de interoperabilidade oferecidas por diversas linguagens de especificação.

Finalmente, o complemento desse trabalho com a participação de soluções orientadas a processo como ERP, SCM, CRM e a integração de aplicações por meio do conceito de EAI pode se mostrar de grande valia, tanto na área de aplicação de nossos estudos, como nos mais diversos domínios regidos por processos de negócio e fluxos de trabalho, independente de pertencerem à gestão pública ou a iniciativa privada. Para isso, uma metodologia genérica e flexível de gestão de processos de negócio, suportada pelos sistemas mencionados acima pode trazer contribuições significativas ao sucesso das corporações e a participação dos *workflows* nesse cenário será decisiva, como tratado no próximo capítulo.

Capítulo 4

O Gerenciamento de *Workflows*

Este capítulo, trata de um dos principais objetivos desse trabalho: A especificação formal de *workflows* e seus respectivos sistemas de gerenciamento. Para isso, serão caracterizados os tipos de *workflow* existentes, perspectivas de especificação, níveis de padronização já alcançados, modelos de referência e finalmente uma introdução aos sistemas de *workflow*, com ênfase naqueles baseados em redes de Petri, modelo formal adotado em nosso estudo de caso.

4.1 Introdução

Segundo van der Aalst (1998), o termo Gerenciamento de *Workflow* se refere ao domínio que coloca em foco a logística dos processos de negócio e um dos principais objetivos dessa área de estudo é fornecer as melhores condições possíveis para que uma determinada atividade seja executada pela pessoa certa e na hora certa. O autor cita ainda, que processos de negócio gerenciados por sistemas de *workflow*, são normalmente orientados a casos, ou seja, uma instância de execução de um processo que funciona independente das outras instâncias.

Processos para declaração de impostos, gerenciamento de violações de trânsito, processos para aprovação de empréstimos e acionamento de apólices de seguro são alguns dos exemplos de processos tipicamente orientados a casos e normalmente gerenciados por sistemas de *workflow*. Assim como esses exemplos, diversas subáreas da saúde pública também lidam com problemas que devem ser solucionados por procedimentos orientados a casos.

4.2 O Advento dos *Workflows*

Na década de 70 a idéia da automação de processos de escritório com o intuito de diminuir ao extremo (ou até mesmo eliminar) o uso de papel nas empresas, fez surgir a

semente para a evolução dos estudos sobre *workflows* e seus sistemas de gerenciamento. De acordo com Stohr & Zhao (2001), os escritórios da era atual são bem diferentes quando comparados à realidade da época mas muitas expectativas de revolução ainda não foram atingidas para essa área de pesquisa, que não deixa de se expandir nas empresas, indústrias e instituições de pesquisa, como veremos a seguir.

4.2.1 A Área de Pesquisa

Ao analisar as pesquisas na área de *workflows*, identificamos uma grande evolução desde os primeiros trabalhos que deram origem ao tema (Ellis & Nutt, 1980), passando por artigos de grande relevância na comunidade científica (Georgakopoulos et al., 1995; van der Aalst, 1998) até ramificações em subáreas ligadas direta ou indiretamente a esse assunto (van der Aalst et al., 2003c; Ludascher et al., 2006; Du et al., 2009).

A área de *workflows*, a partir de meados dos anos 90, passou a gerar uma proliferação de pesquisas e investimentos nas áreas de sistemas de informação, computação aplicada à indústria, engenharia de software e gestão do conhecimento, além de elevar o número de estudos em temas correlatos como: *middlewares*, sistemas de informação cooperativos (CooPIS, 2010; CSCW, 2010), sistemas de gerenciamento de *workflows*, *workflows* científicos, infra-estrutura computacional orientada a *workflow* e principalmente o estudo dos *workflows* orientados a processamento de negócios (ICWM, 2010). Para que possamos ter uma idéia ainda mais clara da relevância e potencial desse tema, mostramos uma versão resumida do trabalho de Stohr & Zhao (2001), onde são listadas algumas das principais oportunidades de pesquisa na área, agrupadas de acordo com três categorias, como podemos ver na tabela 4.1.

4.2.2 Conceitos Básicos

Para que possamos discorrer livremente sobre a área de *workflows*, é fundamental a definição de conceitos básicos (WFMC, 2009) que cercam o tema conforme vemos na figura 4.1 e que permearão todo o restante desse trabalho. São eles:

- *Workflow*: É a automação parcial ou total de um processo de negócio, onde documentos, informação ou tarefas são passadas de um participante para o outro, a fim de executar determinadas ações de acordo com um conjunto de regras.
- Processo de Negócio: É o conjunto de um ou mais procedimentos ou atividades interligadas que coletivamente atingem uma meta, normalmente no contexto dos objetivos de uma organização definindo papéis e relacionamentos. Um processo de negócio pode abranger atividades automatizadas por *workflows* e também por atividades manuais.

Área Técnica
Interoperabilidade: Padronizações e estratégias de implantação; Escalabilidade e Arquiteturas de <i>Workflow</i> ; Expansão das áreas de atuação dos <i>workflow</i> (<i>desktop</i> , departamentos, grandes corporações); Mudanças de processos em tempo de execução; Gerenciamento de exceções com e sem a intervenção manual; Tolerância a falhas, concorrência e segurança; Integração de sistemas de <i>workflow</i> com aplicações externas como sistemas ERP, B2B, entre outros; Monitoramento e controle de <i>workflows</i> inter-organizacionais; Suites de gerenciamento de processos de negócio (modelagem, simulação, verificação, análise)
Área de Gestão e Organizações
Análise e projeto de sistemas colaborativos; Controle e monitoramento da produtividade de trabalho; Correspondência de <i>workflows</i> com a estratégia, estrutura e cultura da organização; Sistemas de incentivo baseados na medição de performance; Uso de <i>Datamining</i> e <i>Datawarehouse</i> nos dados gerenciados por sistemas de <i>workflow</i> ; Análises de custo benefício e estudos de impacto; Agendamentos em tempo de execução e uso de agentes
Área Econômica e Social
Direções do mercado de <i>workflow</i> e oportunidades de investimento; Impacto dos <i>workflows</i> nas áreas de comércio eletrônico e automação da cadeia de suprimentos;

Tabela 4.1: Lista de algumas linhas de pesquisa sobre *workflows*

- Caso ou instância: A representação de uma única execução de um processo ou de uma atividade, incluindo os dados que são utilizados por essa execução. Cada instância representa uma única linha de execução (*thread*), podendo ser controlada de forma independente, possuir seu próprio estado interno e visibilidade para outros elementos do *workflow*.
- Estado de um Processo: Representação das condições internas que definem o estado de uma instância do processo em um instante particular do tempo. Muitos sistemas de gerenciamento de *workflow* mantém essa informação como parte dos seus dados de controle.
- Transição de um Estado: Movimento de um estado do processo para outro, refletindo algum tipo de mudança, como por exemplo o início de uma atividade.
- Tarefa: Os casos são manipulados pela execução de tarefas em uma ordem específica, de acordo com condições que representam dependências entre si. Cada tarefa possui pré e pós condições e pode ser executada por várias instâncias do processo. Uma tarefa que deve ser executada por um caso específico é chamada de item de trabalho.
- Item de Trabalho (*Work Item*): É a representação do trabalho a ser processado, por um participante do *workflow* em uma tarefa específica.
- Lista de Trabalho (*Worklist*): Lista de itens de trabalho associadas a um ou mais participantes de um *workflow*.

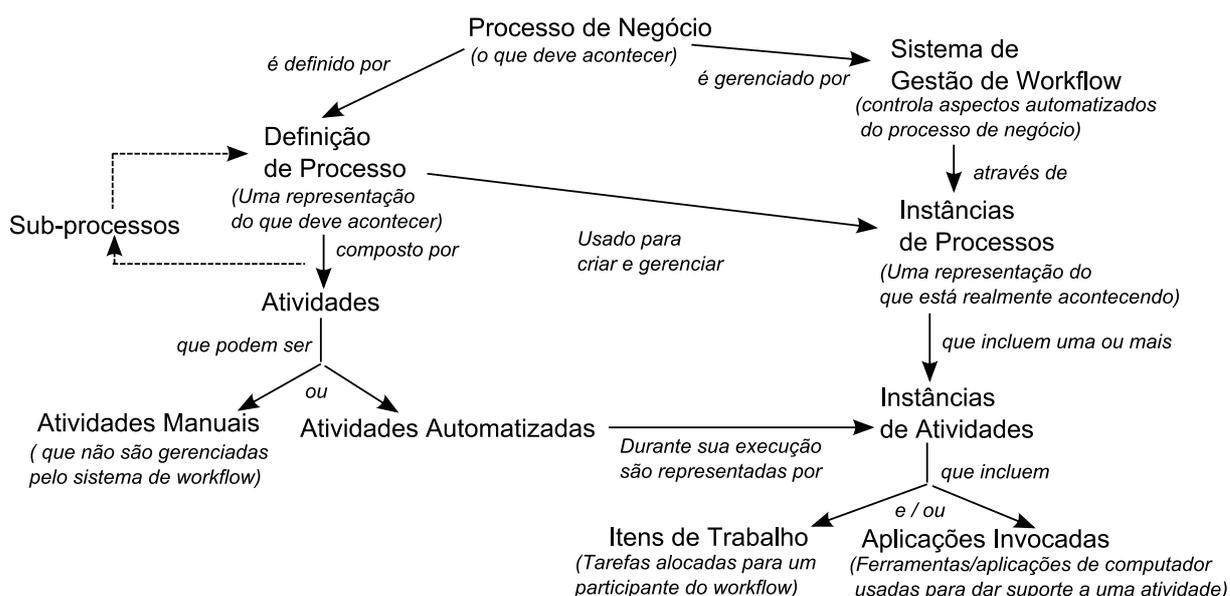


Figura 4.1: Relacionamentos entre os conceitos básicos de um *workflow* (WFMC, 2009)

- **Recurso:** É uma entidade associada a uma ou mais tarefas que devem estar disponíveis quando as mesmas estiverem próximas de sua execução. Podem ser pessoas, estações de trabalho ou categorias denominadas papéis.
- **Papel (*Role*):** Quando uma classe de recursos se baseia na capacidade funcional de seus representantes, como por exemplo: administrador, gerente, programador, denominados esse conceito de papel.
- **Atividade:** Quando um item de trabalho é executado por um recurso em específico, o denominamos de atividade, ou seja, esse termo liga os conceitos de casos, tarefas e recursos de um processo.

As diferenças e relações entre todos esses conceitos, como antecipamos na figura 4.1, serão abordadas mais detalhadamente no decorrer do capítulo e os casos de algumas definições tão próximas como tarefa, atividade e item de trabalho serão melhor esclarecidos no capítulo seguinte dedicado ao mapeamento desses termos no domínio das redes de Petri.

4.2.3 Propriedades

O que caracteriza um *workflow*? É importante esclarecer que nem todo processo de negócio pode ser rotulado por esse conceito, como já mencionamos em nossa introdução. *Workflows* se caracterizam por três critérios fundamentais. São eles:

1. Um *workflow* é um processo orientado à casos.
2. O processo em si é considerado fundamental.

3. Esse mesmo processo pode ser especificado de forma explícita.

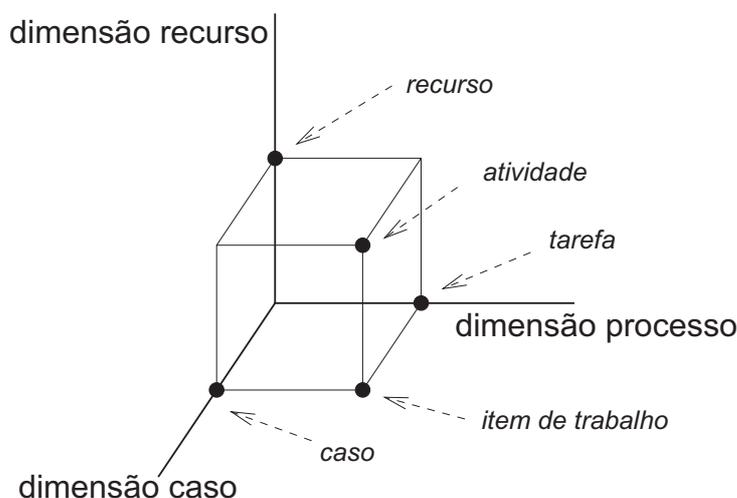


Figura 4.2: Uma visão em três dimensões de um workflow (van der Aalst, 1998)

Complementando essa visão, usamos a figura 4.2, criada por van der Aalst (1998) para dividir os *workflows* em três dimensões: A dimensão relativa ao caso significa que todas as instâncias de um processo são tratadas de forma individual não gerando qualquer tipo de influência direta entre si; Na segunda dimensão, o processo é especificado através de suas tarefas, dependências e rotas; A terceira e última dimensão se refere aos recursos envolvidos no projeto, podendo compor simples perfis de usuário ou até mesmo uma ou várias unidades organizacionais. A partir da referência cruzada (representada pelos pontos da figura 4.2) entre essas três dimensões, obtemos alguns dos conceitos fundamentais (como já vistos anteriormente) para a área de gerenciamento de *workflows* como: tarefas, itens de trabalho, recursos, atividades e organização.

É importante ainda salientar que, não obstante a grande importância das três dimensões destacadas, que projetos para modelagem e implantação de *workflows* poderão ter seu foco não necessariamente voltado para esses três conceitos. Este trabalho, por exemplo, apesar de utilizar todas as visões, terá seu foco principal nas duas primeiras: O caso e o processo. Tal abordagem se dá pela escolha das redes de Petri como ferramenta adotada para especificação dos *workflows* neste trabalho.

4.2.4 Tipos de *Workflow*

Além das propriedades já apresentadas, é importante destacar que existem muitas atividades e ferramentas utilizadas na gestão do fluxo de trabalho chamadas inadequadamente de *workflow*, como por exemplo o uso de ferramentas de *groupware* para trabalhos colaborativos. A tênue diferença entre processos colaborativos e processos de *workflow* é que os primeiros dão ênfase na comunicação e compartilhamento de informação, ao invés da definição de regras de negócio e processos, como é o caso dos

workflows. Apesar das ligações existentes entre os mesmos, como pode ser visto na figura 4.3 que relaciona processos colaborativos e de *workflow*, é fundamental não colocá-los na mesma condição.

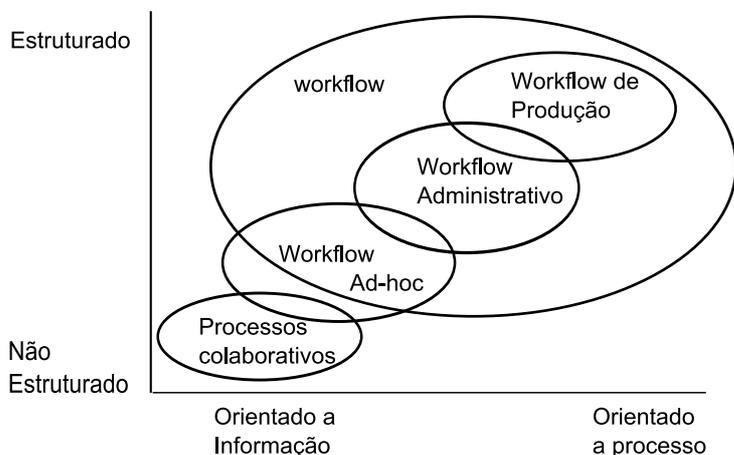


Figura 4.3: Processos de Workflow comparados com processos colaborativos (van der Aalst, 1998)

Para que se possa entender ainda mais o que pode realmente ser considerado um *workflow*, um dos primeiros tópicos a serem observados é relacionado aos tipos existentes. De acordo com Georgakopoulos et al. (1995) e vários outros autores (van der Aalst, 1998; Allen, 2001; Plesums, 2002), a área especializada distingue os *workflows* em três classes. São elas:

- *Workflow* de Produção: Caracterizado por regras de negócio repetitivas e previsíveis em larga escala como, por exemplo, pedidos de empréstimo e concessão de seguros. Envolve processos complexos que, possivelmente terão acesso à vários sistemas de informação (legados ou não e com a possibilidade, inclusive, de serem heterogêneos entre si) e a ordem das várias etapas desse processo tende a ser automatizada, como podemos ver por exemplo na figura 4.4. Allen (2001) cita como uma das grandes vantagens do *Workflow* de Produção o seu grau de automação, aliando a intervenção humana apenas em casos de exceções. Ainda segundo este autor, esse tipo de *workflow* pode funcionar de forma totalmente independente com componentes e interfaces de comunicação próprias ou embutidos em outros sistemas que necessitem de suas funcionalidades, como por exemplo os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) vistos no capítulo anterior.
- *Workflow* Ad-hoc: Nesse tipo de *workflow*, ao contrário dos *workflows* de produção, as partes envolvidas (que normalmente são equipes de pequeno porte) tem total controle para coordenar, negociar e tomar decisões sob seus processos de forma colaborativa sem qualquer tipo de automação. Segundo Allen (2001), *Workflows*

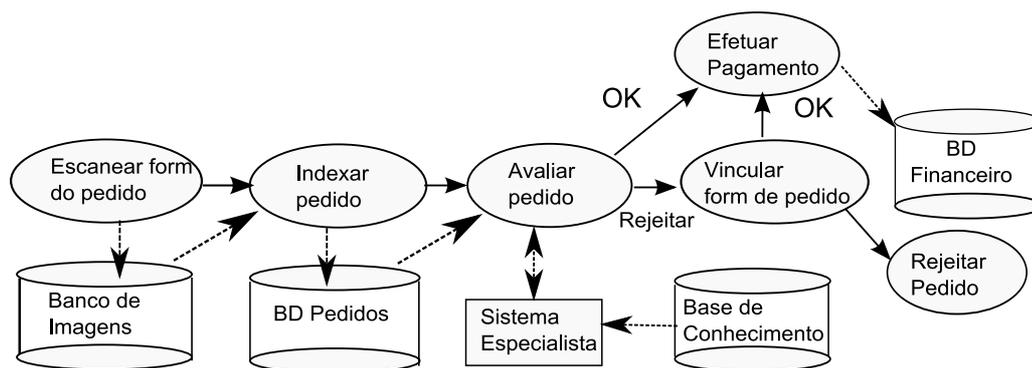


Figura 4.4: Workflow de produção para um processo automatizado de requerimentos na área de saúde

ad-hoc privilegiam a flexibilidade quando confrontados com restrições de segurança, sendo portanto, não recomendados em situações de missão crítica. Na Figura 4.5, vemos um exemplo para essa classificação num processo de revisão de um artigo científico.

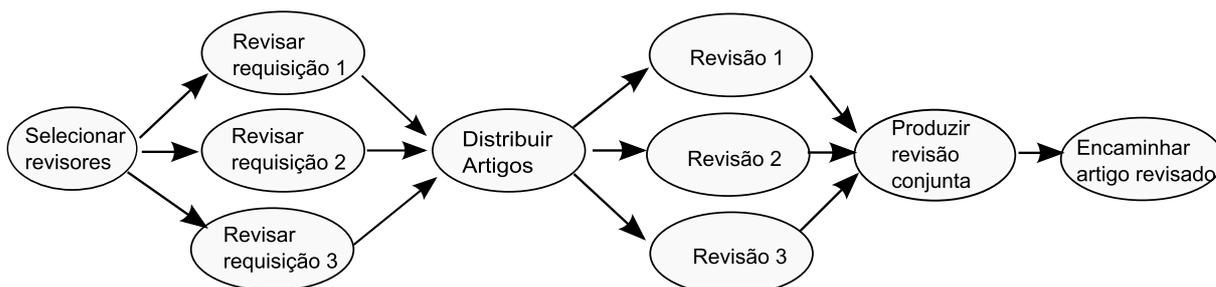


Figura 4.5: *Workflow ad-hoc* para revisão de artigo científico

Em termos de uso de ferramentas, podemos exemplificar cenários *Ad-hoc* através de conversas por correio eletrônico, agendas compartilhadas, conferências *on-line* e outras alternativas caracterizadas como ferramentas de *groupware*. Entretanto, é importante salientar, que para ser classificado como *workflow* e não um simples processo colaborativo, também existem etapas a serem cumpridas no modelo *ad-hoc*. A diferença é que toda essa sequência de etapas podem não estar totalmente definida antes da execução do processo, permitindo uma maior flexibilização das regras de negócio (Georgakopoulos et al., 1995).

- *Workflow* Administrativo: De acordo com Plesums (2002), esse tipo de *workflow* pode ser considerado um cruzamento entre os tipos *ad-hoc* e de produção. As regras de negócio podem ser pré-definidas e alteradas no decorrer do *workflow*, já que uma de suas principais vantagens é a facilidade para definição de processos. O trabalho das pessoas envolvidas para esse modelo pode utilizar correio eletrônico ou ferramentas desenvolvidas de maneira customizada para um determinado tipo

de aplicação. Através da Figura 4.6, podemos comparar o mesmo cenário de revisão conjunta de um documento científico para o tipo administrativo em relação ao *Ad-hoc*. Uma das grande diferenças é que, nos *workflows* administrativos, os revisores recebem *e-mails* com as instruções de revisão, um formulário para comentários e o fim de todas as revisões automaticamente roteia o sistema para uma nova instância do processo, onde o comitê final de avaliação é alertado desse novo estado. Já no caso de *workflows* ad-hoc, para esse mesmo cenário, cada revisor deverá avisar que terminou sua tarefa.

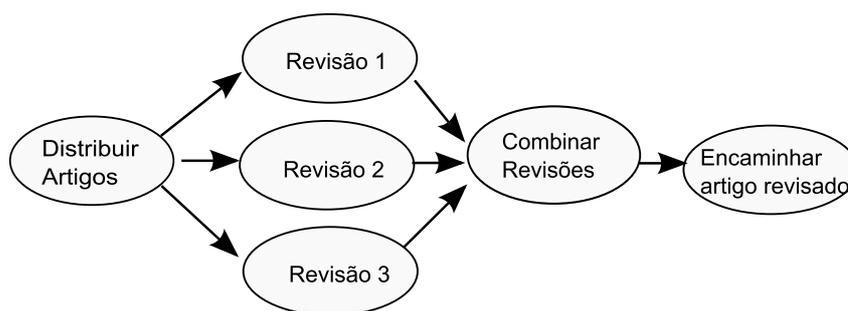


Figura 4.6: Workflow administrativo para revisão de artigo científico

Uma vez listados, os principais tipos de *workflow*, a relação entre os mesmos pode ser mapeada através da figura 4.7 que utiliza como critério de comparação o grau de complexidade *versus* a estrutura das tarefas envolvidas no processo. Em relação à estruturação das tarefas, processos menos estruturados são lineares, enquanto que aqueles com maior nível estrutural dependem de uma organização auxiliada por grafos, principalmente por causa da execução paralela dessas tarefas que podem ainda iniciar ou terminar em momentos diferentes do tempo. Já o grau de complexidade é normalmente determinado pela quantidade de regras de coordenação e colaboração amarrada à execução das tarefas (Georgakopoulos et al., 1995).

A metodologia para gestão de processos baseada na modelagem de *workflows* e desenvolvida como parte dos objetivos desse trabalho, pode se adequar a qualquer dos três tipos de *workflow* vistos nessa seção. No entanto, na aplicação do nosso estudo de caso, os *workflows* administrativos se mostram inicialmente como mais indicados. Ressaltamos ainda, que avanços futuros no projeto que promovam uma maior quantidade de tarefas automatizadas e um aumento em larga escala na quantidade de itens de trabalho, poderá promover nossa especificação para um *workflow* de produção, uma vez que o processo modelado tende a se tornar de missão crítica envolvendo a proteção imediata de vidas ou prevenção de epidemias em larga escala para toda uma população ou grupo de risco.

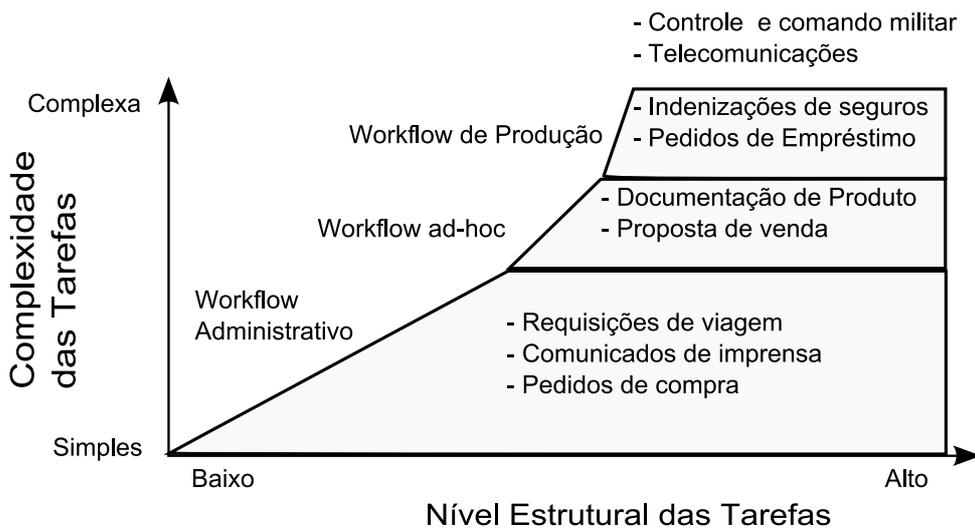


Figura 4.7: Caracterização dos tipos de workflow (Georgakopoulos et al., 1995)

4.2.5 Aplicações

A aplicação da tecnologia de *workflows*, é hoje encontrada nas mais diversas áreas, como é o caso das empresas e suas atividades de comércio eletrônico (van der Aalst, 1999; Du et al., 2009) e em diversas indústrias com seus processos de manufatura e automação (Reijers et al., 2003; Ha & Suh, 2008). O meio acadêmico, com os denominados *workflows* científicos para execução de procedimentos complexos em larga escala, utilizam os benefícios da computação em GRID em áreas como a bioinformática, física e astronomia (Yu & Buyya, 2005; Ludascher et al., 2006) e as empresas tem utilizado, cada vez mais, os recursos oferecidos pelos *workflows* na modelagem de seus processos de negócio (van der Aalst, 1998; Georgakopoulos et al., 1995). Todavia, para que a aplicação de todo esse potencial seja explorado de maneira adequada, é importante que projetistas de sistemas de *workflow* enxerguem e entendam as diferentes perspectivas que podem ser priorizadas na fase de especificação, como será visto a seguir.

4.3 Perspectivas de Especificação

Iniciamos aqui uma das seções que nortearão todo o restante desse trabalho, já que as perspectivas especificação de *workflows*, mencionadas na figura 4.8, funcionarão como base para toda a estruturação da metodologia aplicada em nosso estudo de caso.

É fundamental em projetos que envolvam a modelagem de *workflows*, que o problema seja observado sob diferentes pontos de vista, para que os objetivos traçados sejam alcançados. Partindo dessa premissa, em Stohr & Zhao (2001) são propostas cinco diferentes perspectivas para especificação de *workflow*, detalhadas a seguir.

- **Perspectiva Funcional:** Aborda as funcionalidades do *workflow* a partir da de-

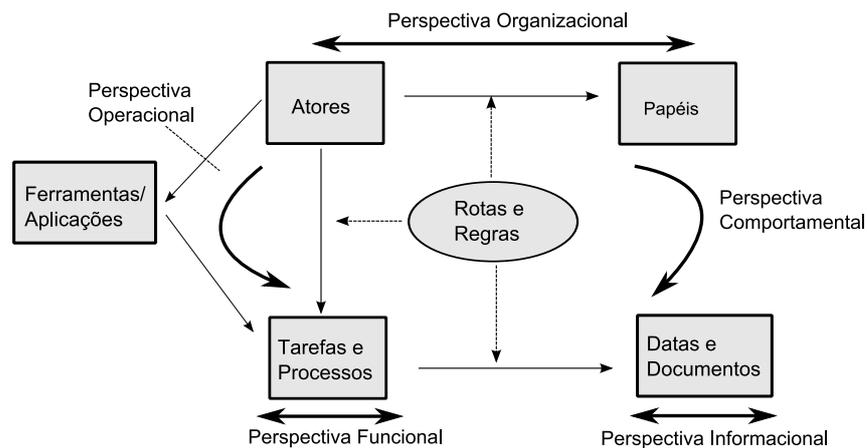


Figura 4.8: As cinco perspectivas de um *workflow*, segundo a WfMC (Stohr & Zhao, 2001)

composição de funções de alto nível em tarefas que possam ser alocadas a pessoas ou agentes de software.

- **Perspectiva Comportamental:** Especifica quando as tarefas e atividades serão executadas através de conceitos como: dependências, eventos, e gatilhos.
- **Perspectiva Organizacional (orientada a recursos):** Quem executa quais tarefas e em quais condições? Essa perspectiva define os aspectos de hierarquia, segurança e controle de acesso da organização para os papéis que serão reconhecidos pelo *workflow*.
- **Perspectiva Operacional:** Voltada para a implementação do *workflow*, especificando ferramentas e aplicações que executam cada etapa do processo.
- **Perspectiva Informacional (orientada a dados):** Quais dados foram produzidos e consumidos pelo *workflow*? Essa perspectiva descreve dados de negócio, documentos, formulários utilizados junto com os arquivos e banco de dados que armazenam informações persistentes para a aplicação.

4.3.1 As Perspectivas Orientadas ao Processo e suas Tarefas

Entre as diferentes perspectivas de especificação de um *workflow*, as visões funcionais e comportamentais influenciam mais fortemente esse trabalho. A primeira por conta das variações que serão feitas no nível de abstração do processo para modelagem de nosso *workflow*, onde tarefas poderão ser decompostas ou agrupadas em abordagens *top-down* ou *bottom-up*, de acordo com o cenário encontrado. Já a perspectiva comportamental (ou orientada a processos) se sobressai como a de maior participação nesse trabalho, por conta de sua natureza orientada ao controle das regras, eventos, estados e dependências entre tarefas do processo.

A perspectiva orientada a processos se torna decisiva em qualquer projeto de modelagem de *workflows*, por conta de sua influência direta em todas as outras perspectivas, uma vez que a construção de rotas traz impacto no comportamento dos recursos (organizacional) e dados (funcional) manipulados pelo processo, além de subjugar a escolha de ferramentas e aplicações (operacional) que possam ser utilizadas na arquitetura do projeto.

De acordo com a complexidade de um *workflow*, várias situações podem necessitar de uma especificação comportamental mais criteriosa. Tópicos mais avançados como o gerenciamento dinâmico de mudanças (Reichert & Dadam, 1998; van der Aalst & Jablonski, 2000) ou o tratamento de exceções (Hagen & Alonso, 2000; Luo et al., 2000) desafiam recorrentemente os profissionais que modelam sistemas de gerenciamento de *workflow*.

4.3.2 A Perspectiva Orientada aos Recursos

Na fase de definição das perspectivas de especificação de um *workflow*, dependendo da natureza do projeto, o uso adequado dos recursos pode se torna um fator crucial para o sucesso da especificação. Questões como as listadas abaixo comprovam essa afirmação e a importância da perspectiva organizacional.

- Escolha entre vários recursos disponíveis para execução de uma tarefa.
- Ordem de execução das tarefas, quando estão disponíveis para o mesmo recurso.
- Monitoramento do trabalho, avaliando critérios como produtividade e sobrecarga.

Outros fatores adicionais também poderão ser levados em conta, quando se diz respeito a essa perspectiva. No caso do fluxo do processo romper barreiras entre departamentos de uma organização ou necessitar até mesmo da cooperação entre organizações distintas, é necessário o estudo referente à modelagem de *workflows* inter-organizacionais.

Com o amadurecimento dos estudos sobre *workflow*, o aumento no número de processos de negócio envolvendo várias organizações, a expansão do comércio eletrônico, o surgimento das empresas virtuais e a consolidação de tecnologias como EDI ¹, *World Wide Web* e a *Internet*, passa a ser natural o fato de que, cada vez mais, os processos de negócio estejam indo além de suas organizações de origem. Conforme os trabalhos de van der Aalst (2000a), existem vários mecanismos a serem levados em conta para gerenciar *workflows* inter-organizacionais (van der Aalst & Kumar, 2003; Schulz & Orłowska, 2004). Listamos alguns a seguir:

¹EDI, *Electronic Data Interchange* é a transferência de dados estruturados através do uso de modelos de documentos, padrões e protocolos bem definidos entre sistemas computacionais.

- Capacidade de compartilhamento: Essa forma de interoperabilidade assume que exista um controle centralizado do processo, ou seja, enquanto um gerenciador manipula as rotas do *workflow*, a execução das tarefas é distribuída pelos recursos existentes em todas as partes envolvidas.
- Execução em cadeia: Cada organização envolvida no *workflow* se responsabiliza por uma dentre várias fases interligadas do processo, de forma sequencial e cooperativa. Nesse caso, o controle do *workflow* é distribuído entre as partes envolvidas.
- Transferência de caso: Cada parceiro usa o mesmo processo e os casos individuais podem ser passados de um para o outro de forma transparente. Vale ressaltar que, num dado momento do tempo, cada caso deve pertencer a apenas uma das partes envolvidas.

Apesar desse projeto sinalizar para visões inter-organizacionais do processo (envolvendo outras unidades da gestão pública além da saúde) e da possibilidade iminente de colaboração entre os recursos envolvidos, a perspectiva organizacional não representa o grande ponto de dedicação desse trabalho. No entanto, a especificação de *workflow* obtida nesse estudo de caso vai oferecer condições para futuras simulações que poderão responder questões importantes sobre a alocação dos recursos no projeto e outros diagnósticos avançados sob essa perspectiva.

4.3.3 A Perspectiva Operacional

A perspectiva operacional também traz sua parcela de contribuição a um projeto de *workflow*, haja visto que especificações de *workflows* adotadas deverão sugerir o desenvolvimento de aplicações para a melhoria do fluxo do processo ou a escolha de ferramentas com regras pré-definidas (como os sistemas ERP) que incentivem estratégias de interoperabilidade entre as várias outras partes envolvidas.

Além da adoção de sistemas de informação orientados a processos para execução de tarefas, outros tipos de ferramentas serão necessárias para o funcionamento de uma arquitetura adequada aos *workflows*. Através da figura 3.1, no capítulo anterior, observamos que existem diferentes etapas no ciclo de vida de um *workflow* e, para cada uma dessas etapas, diversos tipos de ferramentas poderão ser utilizados. A perspectiva operacional se compromete em definir o uso mais apropriado dessas ferramentas.

Tal perspectiva ainda define, na fase inicial de projeto e configuração de um *workflow*, ferramentas e linguagens para modelagem (Woped, 2009) e implementação (van der Aalst & ter Hofstede, 2005) das regras que fazem parte do processo. Quando em execução, esse mesmo processo pode fazer uso de novas ferramentas que utilizem os

dados manipulados pelo *workflow* para diagnóstico (Verbeek & van der Aalst, 2000; van der Aalst et al., 2007b) e redesenho da modelagem inicial. As ferramentas escolhidas para dar suporte a esse trabalho e as possibilidades de ligação do sistema de *workflow* modelado com outros sistemas orientados a processo ratificam a importância dessa perspectiva.

4.3.4 A Perspectiva Informacional

Por fim, complementando essa abordagem orientada a perspectivas, a perspectiva informacional (orientada a dados) traz aspectos cada vez mais relevantes na área de *workflows*, principalmente quando consideramos o conteúdo de temas de pesquisa emergentes envolvendo análise dos tipos de documentos produzidos (Bae et al., 2004; van Hee et al., 2009) e a descoberta de novos modelos de simulação a partir da análise avançada de *logs* produzidos por sistemas de *workflow* (Rozinat et al., 2009).

Muito já vem sendo tratado sobre o uso adequado dos dados nesse tipo de sistema. Plesums (2002) identifica que sistemas de gerenciamento de *workflow* podem, eventualmente, ser implantados em conjunto com sistemas para gestão eletrônica de documentos (os conhecidos GED). Assim, caso exista a manipulação de documentos impressos no processo, que precisem ser consultados frequentemente, é importante uma solução para rápida obtenção dessa informação, através da digitalização, indexação e versionamento desses documentos na forma de imagens ².

Além das questões relacionadas a sistemas GED, uma área de grande evolução nos últimos anos, dentro das linhas de pesquisa sobre *workflows*, faz parte da perspectiva informacional. Estamos nos referindo à técnica de *workflow mining* (van der Aalst et al., 2003c; van der Aalst et al., 2004), o estudo para produção e análise de arquivos de *log* por parte das ferramentas de *workflow*, no intuito de descobrir novos modelos, diagnosticar problemas, efetuar simulações mais próximas da realidade e definir soluções para melhoria de etapas que estejam prejudicando a eficiência do processo.

Em nosso estudo de caso, a perspectiva informacional será vista em vários momentos. Em relação à manipulação de arquivos de *log*, o sistema de *workflow* implementado nesse trabalho apresentará ainda como funcionalidade um extrator de dados para arquivos no formato adequado para aplicação de técnicas de mineração mencionadas, que não serão aprofundadas devido aos limites do escopo de nosso projeto.

Em nossa próxima seção, estudaremos as origens, classificações, funcionalidades e arquitetura dos sistemas de gerenciamento de *workflow* para que a participação de

²Apesar de sabermos que projetos de implantação de *workflows* nas empresas ter com um de seus objetivos a redução de impressões e uso de papel, a natureza de algumas atividades, questões culturais ou a presença de documentos legados que reflitam informações importantes para empresa podem levar a procedimentos como a digitalização de documentos impressos para que suas imagens sejam usadas pelos sistemas de *workflow*

cada uma dessas perspectivas fique ainda mais consolidada no contexto desse trabalho.

4.4 Sistemas de Gerenciamento de *Workflows*

A figura 4.9 mostra uma perspectiva histórica da evolução dos sistemas de informação, contextualizada em van der Aalst (1998). Pode-se observar as grandes mudanças de concepção em sua arquitetura e seus componentes. Inicialmente, os sistemas de informação eram formados por várias aplicações isoladas, funcionando de maneira *standalone* com rotinas e algoritmos próprios para armazenamento de dados e gerenciamento da interface com o usuário final. Assim, para cada novo sistema desenvolvido, todo esse trabalho deveria ser feito novamente, sem qualquer aproveitamento de tecnologia. A década de 70 marcou o desenvolvimento dos sistemas de gerenciamento de banco de dados (SGBD) que tiraram essa responsabilidade do núcleo da aplicação, enquanto que os anos oitenta trouxeram uma contribuição similar em relação ao gerenciamento de interfaces com o usuário. Isso possibilitou aos desenvolvedores um tratamento separado para os mecanismos de interação com o usuário.

Assim, de acordo com van der Aalst (1998), com a continuidade dessa evolução, a tendência com o passar dos anos era que uma camada genérica compondo as regras de negócio, representada pelos sistemas de gerenciamento de *workflow*, também passasse a ser homologada como uma arquitetura ainda mais benéfica para as aplicações em geral. Essa visão se confirmou nos dias atuais, devido a grande quantidade de pesquisa dedicada ao assunto e a quantidade de ferramentas e aplicativos para gerenciar *workflows* existentes.

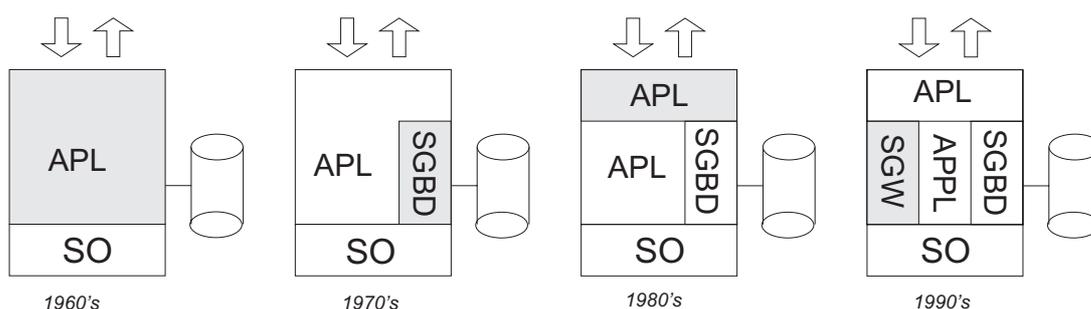


Figura 4.9: Histórico dos Sistemas de Gerenciamento de Workflow

4.4.1 A Origem na Automação de Escritórios

Em paralelo à visão dos sistemas de informação e seu processo de evolução, muitas contribuições anteriores já formavam uma base sólida para o investimento na pesquisa sobre *workflows*, como veremos a seguir.

A partir de trabalhos como os de Ellis & Nutt (1980) (com o apoio de empresas como AT&T, Kodak, IBM, 3M, Xerox, entre outras) nasciam os *Office Information Systems*, considerados os primeiros protótipos de sistemas de informação de *workflow* (Salimifard & Wright, 2001). Os sistemas de informação de escritório automatizados emergiram como uma forte área de pesquisa interdisciplinar e de grande apelo computacional envolvendo etapas como armazenamento, recuperação, manipulação e controle de documentos em um ambiente distribuído, muito embora as primeiras versões desses sistemas pecarem por falta de flexibilidade, eventualmente amarrando o fluxo de trabalho das empresas a processos já definidos, tornando-os inadequados aos objetivos da organização. Como se não bastasse, a tecnologia de redes disponível na época e a cultura de uso dos computadores nas corporações não estavam com maturidade suficiente para esse novo paradigma (Olson & Lucas, 1982). A partir das iniciativas de pesquisa voltadas ao trabalho cooperativo suportado por computador, tema que ficou conhecido por CSCW (Ellis et al., 1991; Reinhard et al., 1994), o conceito de *workflow* aparece como ferramenta de coordenação do trabalho em equipes e posteriormente na gestão de processos de negócio.

4.4.2 Classificação e Arquitetura

Sistemas de gerenciamento de *workflow* são considerados por Stohr & Zhao (2001) como uma classe da tecnologia da informação designada a automatizar processos de negócio através da coordenação e controle do trabalho e informações gerenciadas pelos participantes de uma área específica. Esses sistemas podem se apresentar de várias maneiras. Tanto como um tipo de *middleware* interligando aplicativos de escritório e sistemas legados a aplicações de grande porte, como componentes embutidos em softwares comerciais ou até mesmo aplicações *standalone* dedicadas exclusivamente ao gerenciamento desse tipo de processo. No entanto, apesar de tamanha abrangência, van der Aalst (2004) afirma que poucas organizações efetivamente estão utilizando um sistema de gerenciamento de *workflow*. Este conceito, segundo o autor, pode se apresentar sob uma das formas de funcionamento a seguir.

- Sistemas de *Workflow* Puros: Aqueles que contemplam todas as características de um sistema de *workflow*, desenvolvidos especialmente para esse propósito. Podemos citar como exemplo o IBM *WebSphere MQ Workflow*, TIBCO *iProcess Suite* (TIBCO, 2010).
- Componentes de *workflow* embutidos em outros sistemas: Muitos pacotes de softwares orientados a processo trazem em sua configuração, componentes de *workflow* cuja funcionalidade é comparável aos sistemas de *workflow* puros. Os sistemas ERP, por exemplo, normalmente oferecem esse tipo de componente, como

é o caso do SAP/R3 (SAP, 2009).

- Sistemas baseados em soluções customizadas: Muitas organizações, como por exemplos bancos e companhias de seguro, decidem não utilizar soluções comerciais fechadas, optando por sistemas customizados de acordo com sua realidade mas utilizando ferramentas e tecnologias que adotam as padronizações definidas pelas entidades especializadas na área (WFMC, 2009). Esse tipo de sistema normalmente não suporta a quantidade de funcionalidades oferecidas pelos dois tipos anteriores.
- Sistemas fortemente baseados em codificação: É o tipo adotado nesse trabalho. Reflete a situação onde todas as regras dos processos de negócio estão codificadas de maneira altamente acoplada às aplicações da empresa. Não existem *workflows* com tratamento genérico para processo e a única maneira de efetuar mudanças é a alteração desse código fonte.

Independente das condições em que se apresenta e do potencial para aplicação nos mais diversos tipos de organizações, se um sistema de gerenciamento de *workflows* não estiver instalado, configurado e com os dados e recursos necessários para o seu funcionamento, o mesmo não poderá ser posto em produção. Sendo assim, van der Aalst (1998) utiliza o termo sistema de *workflow* (assim como também o faremos em todo o decorrer do trabalho) para o conjunto formado por dados de definição do processo, dados da organização envolvida, ferramentas e aplicações utilizadas, sistema de gerenciamento de banco de dados, arquivos de configuração e outros componentes que venham influenciar o ambiente do sistema e sua vizinhança. Essa visão ratifica a importância das perspectivas de especificação estudadas na seção anterior.

Para o funcionamento adequado de um sistema de *workflow*, apresentado na figura 4.10, o modelo de referência desenvolvido pela *Workflow Management Coalition*³ é utilizado. Cada uma das interfaces apresentadas e os respectivos componentes da arquitetura de um *workflow* definidos por esse modelo serão discutidas a seguir.

- Serviço de Ativação de *Workflow*: Oferece o ambiente de execução onde um processo é instanciado e ativado, além de interagir com recursos externos à aplicação.
- Interface 1: Ferramentas de Definição de Processos - Caracterizadas por sistemas que possibilitam a definição de um processo de negócio (van der Aalst & ter Hofstede, 2005), envolvendo tanto a modelagem das atividades que serão automatizadas como também as que devem ser manuais para uma posterior configuração.

³A *Workflow Management Coalition* (WFMC, 2009) foi criada em 1993 por um grupo de empresas interessadas na evolução da área de *workflows* e seus produtos derivados. Os esforços dessa iniciativa resultaram em um modelo de referência, com padrões abertos de interoperabilidade entre sistemas de *workflow* que trouxeram um ganho importante para uma evolução organizada desse campo de estudo. Mais informações em <http://www.wfmc.org>

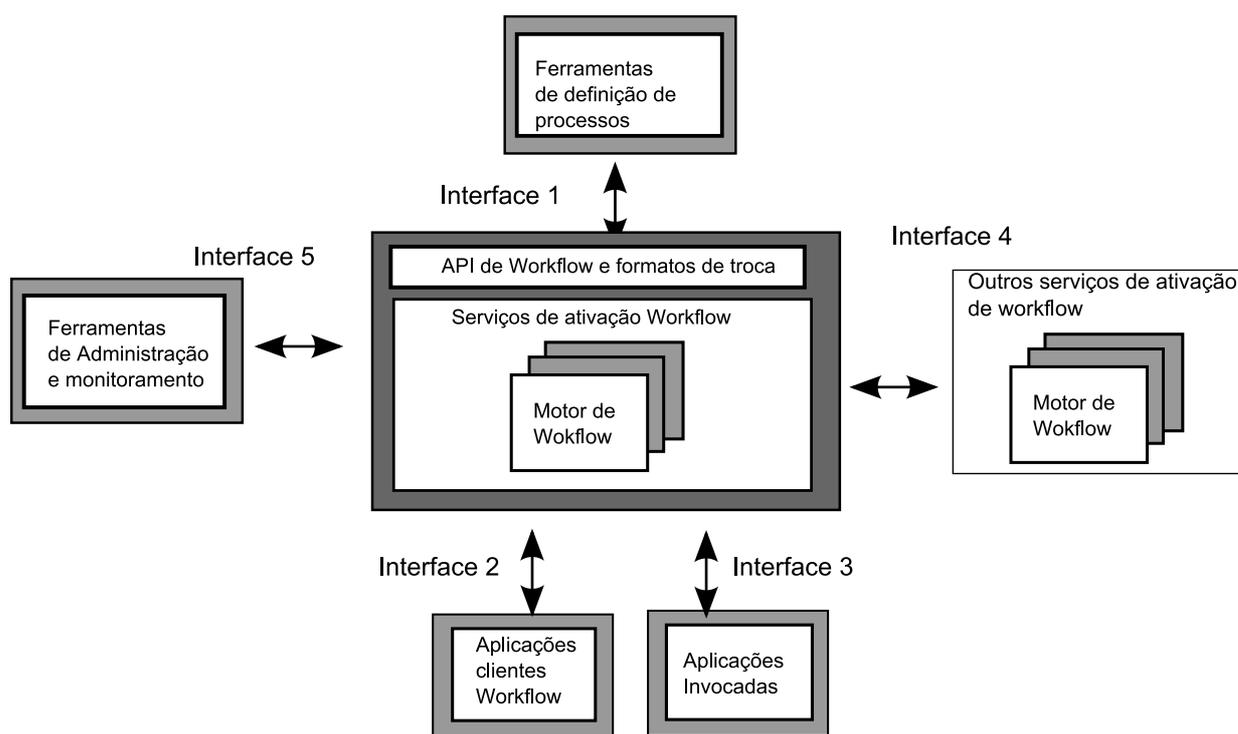


Figura 4.10: Modelo de Referência da WfMC (WFMC, 2009)

- Interface 2: Aplicações de *Workflow* do Lado do Cliente - Oferece ao participante do processo a possibilidade de acesso de suas tarefas através de uma lista de trabalho, comunicando-se ainda com outras aplicações e acessando outros dados ou funções do *workflow*.
- Interface 3: Aplicações Invocadas - Através dessa interface ocorre a interação do sistema de *workflow* com outras aplicações como sistemas ERP, CRM, sistemas legados de *mainframe*, planilhas, processadores de texto, dentre outros. Essa interação pode ainda ocorrer, em alguns casos, através do uso de agentes (Madhusudan, 2005) com propriedades para invocação dessas aplicações.
- Interface 4: Outros Serviços de Ativação de *Workflow* - Quando existe a necessidade de comunicação entre dois sistemas *workflow* em ambientes distintos e de características heterogêneas, para transferir a execução de atividades ou subprocessos de um serviço de ativação para o outro, a padronização no intercâmbio de dados entre os motores de *workflow* é extremamente necessária. Assim, vários cenários de interoperabilidade podem ser desenhados a partir dessa interface de comunicação.
- Interface 5: Ferramentas de Administração e Monitoramento - É uma interface de comunicação para ferramentas de administração e monitoramento de *workflow* (Verbeek & van der Aalst, 2000; van der Aalst et al., 2007b), possibilitando

o compartilhamento de funções de administração entre aplicativos desenvolvidos por fabricantes diferentes funcionando até mesmo em domínios distintos. Dentre algumas das principais funções dessas ferramentas está o gerenciamento de usuários, gerenciamento de papéis, manipulação de registros de auditoria, controle de recursos, acompanhamento do processo, entre outros.

Observando o modelo proposto pela WfMC, podemos observar uma tendência que leva ao uso dos sistemas com propósitos cada vez mais complexos e avançados. É portanto, fundamental, a certeza de que os processos de negócio desses sistemas continuem a fornecer resultados precisos e independentes da análise subjetiva de especialistas do domínio. Assim, a análise desses *workflows* trouxe a necessidade de base formais por trás das ferramentas utilizadas para modelagem desses sistemas. Essa constatação é que nos leva ao estudo dos sistemas de *workflow* baseados em redes de Petri.

4.4.3 Sistemas de *Workflow* Baseados em Redes de Petri

Em van der Aalst et al. (1998), um dos mais importantes trabalhos sobre o tema, já era contabilizado cerca de 250 sistemas de gerenciamento de *workflow*, o que evidenciava a consolidação dessa área, que além desses números, ainda destacava que uma grande parte desses sistemas, possuía como base o modelo formal das redes de Petri. Para justificar essa escolha, enumeramos algumas razões que van der Aalst et al. (1998) cita em suas pesquisas em favor desse tipo de decisão.

1. Semântica formal e grande poder de expressão gráfica: Além de uma base formal, isenta de ambiguidades na especificação do *workflows*, as redes de Petri se utilizam de artifícios gráficos concisos e de fácil interpretação por parte de todos os personagens envolvidos em fases de definição das regras de negócio de um sistema de informação. Além disso, a evolução dos estudos sobre redes de Petri possibilitaram a aplicação formal de tópicos como tempo, hierarquia e vários outros aspectos que agregam valor na modelagem de um *workflow*.
2. Solução baseada em estados além de eventos: Em contraste com muitas outras técnicas para modelagem de *workflow*, o estado atual de uma instância de processo (além de seus eventos), pode ser modelado explicitamente pelas redes Petri, enquanto que a grande maioria das alternativas disponíveis se baseia apenas na modelagem de eventos (van der Aalst et al., 1998).
3. Alto poder de análise: A corretude, eficácia e eficiência dos processos de negócio gerenciados por um sistema de gestão de *workflow* são vitais para uma organização. Uma definição de processos de *workflow* poderá conter erros e por esse motivo, é um grande diferencial ter a opção de efetuar análise de uma modelagem

antes de colocá-la em produção. Redes de Petri oferecem técnicas como validação, verificação e análise de performance.

4. Independência de fabricantes: Um *framework* para modelagem e análise de processos baseado em redes de Petri é totalmente independente de pacotes ou aplicativos de um único fabricante e não deixará de funcionar quando organizações responsáveis por ferramentas já consolidadas no mercado sejam absorvidas por outras.

4.4.4 Sistemas de *Workflow* Baseada em Padrões

Quando criados por Gamma et al. (1995) no contexto das linguagens de programação, os padrões de projeto (*Design Patterns*) ofereceram grandes facilidades para padronizar a forma de interação nos sistemas orientados a objeto com requisitos essenciais aos domínios de aplicação independente de tecnologia aplicada. Esse raciocínio no contexto dos sistemas de *workflow* provocou um resultado similar, oferecendo uma forma homogênea de avaliar e comparar o poder de funcionamento desses sistemas e sua capacidade de implementar (de forma alheia a adoção de ferramentas ou linguagens específicas) diferentes cenários com problemas dos mais diferentes aspectos e grau de dificuldade.

A partir de vários estudos para captar as possibilidades de comportamento de um *workflow*, desde os mais simples aos mais complexos destacamos o trabalho de van der Aalst et al. (2003b) que catalogou e classificou, um número inicial de vinte padrões de comportamento considerados como base para modelagem, implementação, análise e principalmente execução dos sistemas de gerenciamento de *workflow* em geral. Examinaremos brevemente alguns deles a partir de agora, agrupando-os dentro de categorias definidas pelo próprio autor.

- Padrões de Controle Básico: Descrevem aspectos elementares e de controle que servem de base para o funcionamento de qualquer tipo de sistema de *workflow*. Encontram-se nessa categoria os padrões: sequencial, divisão em paralelo, sincronização, escolha exclusiva e mesclagem simples.
- Padrões Avançados de Ramificação e sincronização: Nesse conjunto de padrões, características não convencionais envolvendo a ramificação e, conseqüentemente, a sincronização de fluxos do processo são avaliadas. Fatores envolvendo envolvendo múltipla escolha entre vários caminhos de execução, alternativas de convergência de caminhos paralelos, necessidade de sincronização de tarefas e outras questões desse porte são tratados por esse grupo de padrões, evidenciados na figura 4.11 e nem sempre suportado por boa parte dos sistemas de *workflow* comerciais (van der Aalst et al., 2003b).

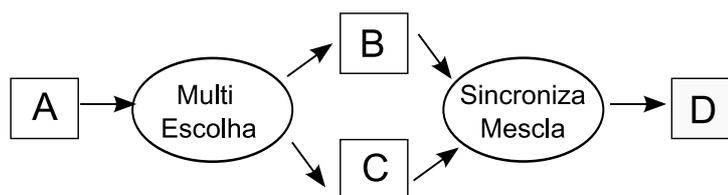


Figura 4.11: Relação entre os patterns Multi-escolha e Sincroniza-Mescla

- Padrões estruturais: Muitas ferramentas de gerenciamento de *workflow*, impõe diferentes tipos de restrição aos modelos de especificação. Essas barreiras muitas vezes não são o retrato da realidade e prejudicam o trabalho dos analistas de negócio que usualmente, precisam utilizar recursos prejudicados por essas restrições. Os padrões desse grupo retratam problemas como a execução de processos que envolvem ciclos arbitrários⁴ e ações que determinem o término do processo antes mesmo do fim de todas as suas tarefas.
- Padrões envolvendo múltiplas instâncias: Tratam situações onde múltiplas instâncias de um *workflow* podem estar ocorrendo dentro um processo, o que na prática significa que uma atividade poderá possuir mais de uma instância ativa e em execução ao mesmo tempo. Dentro desse contexto, são estudadas características como sincronização de instâncias, condições para criação e o estabelecimento de outros critérios, definidos em tempo de *Design* ou execução dessas instâncias de *workflow*.
- Padrões baseados em estados: Refletem situações onde as soluções de implementação do *workflow* envolvem linguagens de especificação que suportam o conceito de estado, que caracteriza uma grande coleção de dados relevantes para um processo, associada à execução de suas atividades. Esse tipo de habilidade em sistemas de *workflow* permite o estabelecimento de marcos (*Milestones*) que definam prazos de execução das tarefas, adiamentos na escolha de tarefas para execução e outras decisões de roteamento do processo que dependam de estados assumidos pelo sistema.
- Padrões de cancelamento: Grupo relacionado ao conceito de cancelamento onde instâncias de atividades habilitadas e prontas para execução precisam ser retiradas do processo. Sistemas que suportam esse padrão podem lidar com cancelamento de atividades ou de instâncias completas do *workflow*, como vemos na figura 4.12.

⁴Pode ser feita uma analogia desse padrão com os recursos das linguagens de programação, onde um ciclo arbitrário se assemelha ao comando *GOTO*, enquanto que um ciclo estruturado tem relação com o comando *WHILE*.

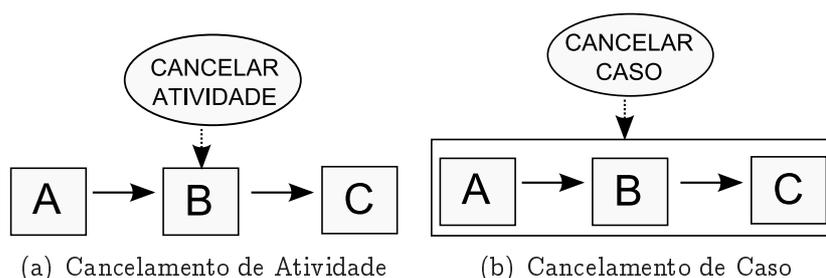


Figura 4.12: Padrões de Cancelamento de Workflow

A partir do trabalho seminal de van der Aalst et al. (2003b), o grupo de pesquisa denominado *Workflow Patterns Initiative*⁵ evoluiu seu trabalho para uma versão revisada (Russell et al., 2006) do documento original que deu origem a outros novos padrões. Essa nova versão foi classificada como padrões de controle (*workflow control patterns*) e a evolução desses trabalhos e dos sistemas de *workflow*, deu origem a outros tipos de padrões que também foram definidos e agrupados, de acordo com tópicos específicos na área, como veremos a seguir.

- Padrões orientados a recursos: Os denominados *Workflow Resource Patterns* (Russell et al., 2005b) definem as diversas maneiras como o fluxo do trabalho pode ser distribuído pelos recursos de uma corporação, desde a passagem de tarefas para um participante ou papel (*push patterns*) como o caso contrário, onde o membro do *workflow* obtém tarefas de uma lista disponibilizada pelo sistema (*pull patterns*).
- Padrões orientados a dados: Quando nos baseamos nesse tipo de perspectiva, uma série de critérios como envolvendo visibilidade, interação, taxa de transferência e roteamentos baseados nos dados pode influenciar o funcionamento de sistemas de *workflow*. O trabalho de Russell et al. (2005a), identificou esse grupo em particular de padrões como (*workflow data patterns*).
- Padrões de exceção: Segundo Hagen & Alonso (2000), exceções se referem a fatos ou situações não modeladas ou desvios que ocorrem entre o que planejamos e o que realmente acontece. Ao passar do tempo, com o amadurecimento da tecnologia de *workflows*, vários estudos para tratamento de suas exceções (Casati et al., 1999; Luo et al., 2000) passaram a ser reconhecidos e largamente aplicados no desenvolvimento dos sistemas de gerenciamento de *workflow*. Esse tipo de funcionalidade pode ser verificada pelos *Workflow Exception Patterns* (Russell et al., 2006).

⁵A *Workflow Patterns Initiative* iniciou seus trabalhos na quarta edição da Conferência Internacional de Sistemas de Informação Cooperativos (CooPIS'99 - Edinburgh), quando os pesquisadores Wil van der Aalst e Arthur ter Hofstede iniciaram seus estudos nesse assunto. Atualmente, o portal oficial desse grupo de pesquisa é a principal referência mundial para pesquisadores, profissionais das mais diversas áreas e empresas desenvolvedoras de sistemas de *workflow*. Mais informações em www.workflowpatterns.com

Embora seja comum que várias comparações entre sistemas de gerenciamento de *workflow*, usem esse catálogo de padrões como referência, é muito difícil encontrar uma solução que implemente todos os comportamentos identificados por esse grupo de pesquisa e a escolha da solução de *workflow* que será adotada em cada projeto deve ser feita de acordo com a necessidade de cada cenário encontrado. Assim, apesar do sistema de *workflow* desenvolvido nesse trabalho ser do tipo fortemente baseado em codificação e suportar um número limitado de padrões, suas funcionalidades atendem todas as necessidades iniciais do problemas propostos em nosso estudo de caso.

4.5 Conclusões

A partir do que foi observado no estudo dos *workflows*, abordando suas origens, metodologias para modelagem, perspectivas de especificação, taxonomias, critérios de padronização e seus sistemas de gerenciamento, daremos continuidade ao trabalho a partir do elo de ligação estabelecido por essa tecnologia e as redes de Petri. Solução largamente adotada como base de vários sistemas de gerenciamento de *workflow* por conta de fatores como: poder de expressão gráfica, embasamento formal e alto poder de análise das modelagens obtidas. Assim, para um maior entendimento sobre o tema, nos dedicaremos no próximo capítulo ao estudo das redes de Petri e sua relação com a modelagem de *workflows*.

Capítulo 5

Gerenciamento de *Workflows* com Redes de Petri

Neste capítulo são apresentadas as principais propriedades, classificações e aplicações das redes de Petri. No entanto, apesar da vasta literatura sobre o assunto e a diversidade de áreas de aplicação, um maior destaque será dado para as *workflow-nets*, a extensão das redes de Petri dedicada à modelagem de *workflows*, devido à sua importância nesse projeto.

5.1 Redes de Petri

Redes de Petri são ferramentas gráficas e matemáticas de modelagem originadas na tese de doutorado de Carl Adam Petri, intitulada *Kommunikation mit Automaten* (Comunicação entre autômatos) submetida à Faculdade de Matemática e Física da Universidade Técnica de *Darmstadt* na Alemanha no ano de 1962. Tese essa, utilizada em pesquisas pela *Applied Data Research Inc.*¹, dentro do Projeto *Information Systems Theory* liderado por Anatol W. Holt (Murata, 1989), quando teve sua teoria aplicada em vários projetos de software e outras iniciativas de pesquisa (Peterson, 1977).

5.1.1 A Área de Pesquisa

A expansão da pesquisa sobre redes de Petri, evidenciada na década de 70 trouxe como resultados as primeiras modificações em relação ao seu formato original, com novas redes capazes de modelar características temporais de um sistema (Merlin & Farber, 1976; Sifakis, 1980) e que logo evoluíram para adição de aspectos estocásticos (Molloy, 1982) à ferramenta. Na década de 80 surgiram as redes Predicado/Transição e as redes coloridas,

¹A *Applied Data Research Inc.*, fundada em 1959, foi uma grande empresa Norte Americana de comercialização de software durante a década de 60 até meados da década de 80 e considerada como uma das pioneiras nesse tipo de atividade.

consolidando o termo *Redes de alto nível*, para caracterizar o desenvolvimento de modelos mais compactos e com maior poder de expressão².

Ainda na década de 90 as redes coloridas evoluíram para uma nova versão (Jensen, 1997) que além de possuir marcas diferenciáveis passou a tratar aspectos temporais e tipos de dados abstratos. Ao final dessa década, o trabalho seminal de van der Aalst (1998), consolida a aplicação das redes de Petri na modelagem de *workflows* a partir das *workflow-nets*.

5.1.2 Conceitos Básicos

Em sua definição mais simples, podemos afirmar que redes de Petri são grafos bipartidos com dois tipos de nó, chamados *places* (lugares) e *transitions* (transições) que são conectados por arcos de forma que, não seja envolvidos de forma direta, dois nós do mesmo tipo. Dentro de sua notação, transições são representadas por retângulos e lugares por círculos, podendo existir ainda zero ou vários *tokens* dentro de um mesmo lugar, representados por pontos pretos dentro dos círculos. Através da figura 5.1 temos um simples exemplo da representação gráfica dessa notação e algumas interpretações utilizadas para os seus elementos.

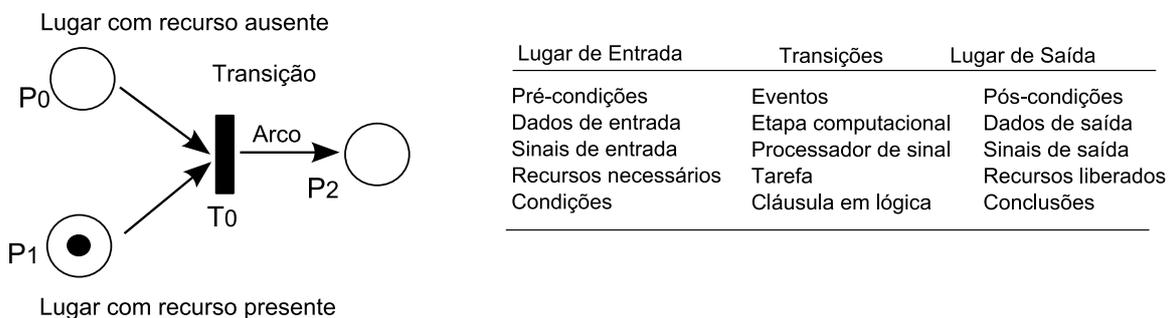


Figura 5.1: Notação gráfica de uma Rede de Petri e algumas interpretações dos elementos usados.

Em termos mais práticos, podemos afirmar que as redes de Petri podem definir graficamente a estrutura de um sistema com o uso de um grafo direcionado com comentários e em sua definição formal e versão mais elementar, Murata (1989) as define como uma quádrupla $RdP = \{P, T, F, M_0\}$ onde:

- $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ é conjunto finito de n lugares ;
- $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\}$ é conjunto finito de m transições ;

²O surgimento de tantas derivações em relação ao modelo proposto por Petri trouxe, em meados dos anos 90, iniciativas de padronização que deram origem ao padrão ISO/IEC-15909, dividido em três partes: I - Conceitos, definições e notações gráficas; II - Formatos de transferência; III - Extensões. Atualmente, cada uma das partes se encontra em diferentes fases de homologação (ISO/IEC 15909, 2004)

- $F \subseteq (PxT) \cup (TxP)$ é um conjunto de arcos;
- $M_0 : P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ é a marcação inicial da rede;
- $P \cap T = \emptyset$ e $P \cup T \neq \emptyset$;
- Dado $p \in P, t \in T, \bullet t = \{p \mid (p, t) \in F\}$ é denominado o conjunto de lugares de entrada (*input places*) de uma transição t ; $t \bullet = \{p \mid (t, p) \in F\}$ é denominado o conjunto de lugares de saída (*output places*) de uma transição t . As notações $\bullet p$ e $p \bullet$ possuem significado similar.

Segundo van der Aalst (1998), as redes de Petri podem representar estados e eventos simultaneamente. O estado, usualmente referenciado como uma marcação é a distribuição dos *tokens* pelos lugares de uma rede. Se escrevermos por exemplo: $p_1 + 3p_2 + 2p_4$, estamos representando o estado em uma rede de Petri onde temos um *token* em p_1 , 3 *tokens* em p_2 , nenhum *token* em p_3 e dois *tokens* no lugar p_4 .

Já os eventos podem ser representados pelas transições, que são componentes ativos da rede, compondo sua execução através de seus disparos paralelos ou sequenciais. Mais especificamente, se cada lugar p de entrada numa transição t contém ao menos um *token*, podemos afirmar que essa transição t está habilitada para o disparo, que quando é executado consome um *token* de cada um desses lugares de entrada produzindo um *token* para cada um dos lugares de saída dessa mesma transição t . Através da figura abaixo, damos um exemplo desse comportamento. Pode ser observado, que no primeiro momento, a transição T_0 ainda não pode ser disparada³, o que só ocorre em seguida com a presença de um *token* no outro lugar de entrada.

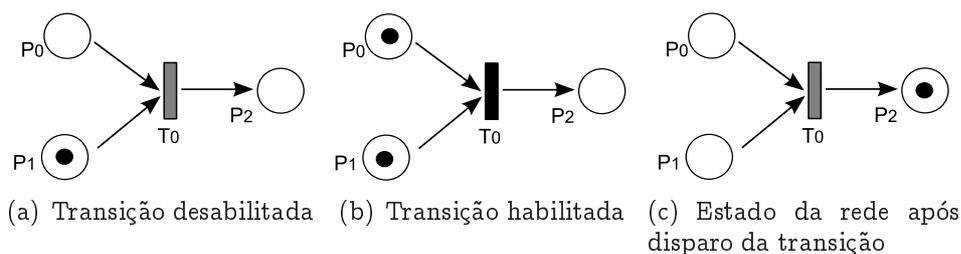


Figura 5.2: Comportamento de uma rede de Petri no disparo de uma transição

Dado esse exemplo da natureza dos disparos de uma transição, observamos as notações a seguir:

- $M_1 \xrightarrow{t} M_2$: A transição t está habilitada no estado M_1 e o seu disparo nesse estado resulta em um novo estado M_2
- $M_1 \rightarrow M_2$: Existe alguma transição t na rede tal que $M_1 \xrightarrow{t} M_2$

³A mudança de cores nas transições de cada figura foi promovida apenas para fins didáticos no intuito de diferenciar de forma ilustrativa os estados que podem ser assumidos por T_0 .

- $M_1 \xrightarrow{\sigma} M_n$: A sequência de disparos $\sigma = t_1 t_2 t_3 \dots t_{n-1}$ leva do estado M_1 ao estado M_n através de um conjunto (que pode ser vazio) de estados intermediários M_2, \dots, M_{n-1} , ou seja, $M_1 \xrightarrow{t_1} M_2 \xrightarrow{t_2} \dots \xrightarrow{t_{n-1}} M_n$

A partir da definição formal de redes de Petri, pode-se modelar a dinâmica de sistemas de informação de acordo suas regras de negócio. Semanticamente, os lugares e recursos modelam objetos do sistema, as transições modelam as tarefas para execução e os arcos associam os objetos a essas tarefas, permitindo verificar tanto os objetos que são necessários para execução de uma determinada atividade quanto os objetos resultantes de sua execução (como já foi mostrado na figura 5.1). Além disso, a modelagem através de redes de Petri indicará as ações que estão sincronizadas, as que podem ser executadas paralelamente e ainda simular possíveis situações, estados e rotas que o sistema de informação pode seguir junto com suas consequências.

5.1.3 Propriedades

Ao ser feita uma modelagem com redes de Petri, várias propriedades podem ser observadas quando se diz respeito à análise de características e problemas associados ao modelo obtido. Segundo Murata (1989), essas propriedades podem ser estudadas a partir de dois grupos: O primeiro denominado de propriedades comportamentais, dependente da marcação inicial da rede enquanto que o segundo é indiferente a essa marcação, sendo chamado de propriedades estruturais. Verificando inicialmente, a análise das propriedades comportamentais de uma rede de Petri, podemos listar:

- Alcançabilidade: Um dos principais pontos de estudo das redes de Petri, para que se possam estudar as propriedades dinâmicas de um sistema. Através dessa propriedade podemos verificar se, a partir de uma marcação inicial M_0 e de acordo com uma sequência de disparos das transições, é possível alcançar uma outra marcação M_n .
- Limitação (*Boundness*): Uma Rede de Petri é dita limitada se o número de *tokens* contidos em cada um dos seus *places* não excede um número finito k em qualquer das marcações alcançáveis da rede. Um caso particular de rede limitada são chamadas de redes seguras, onde o valor de k nunca excede o valor 1.
- Vivacidade (*Liveness*): Propriedade altamente relacionada com a ausência dos conhecidos *deadlocks* em sistemas operacionais. Uma rede é considerada viva se, independente de qualquer estado obtido a partir da marcação inicial, é possível disparar qualquer uma de suas transições através de uma sequência de disparos em particular. Como essa propriedade é idealizável por muitos sistemas mas impraticável em vários casos reais (como sistemas de grande porte, por exemplo),

diferentes níveis de vivacidade foram definidos. Sendo assim, Murata (1989) afirma que uma transição t em uma rede de petri (N, M_0) é classificada da seguinte forma:

1. Morta se t nunca é disparada em qualquer sequência de disparos de $L(M_0)$
2. L1-viva se t pode ser disparada ao menos uma vez em alguma sequência de disparos de $L(M_0)$
3. L2-viva se, dado um inteiro positivo k , t pode ser disparado ao menos k vezes para alguma sequência de disparos de $L(M_0)$
4. L3-viva se t aparece infinitamente para alguma sequência de disparo em $L(M_0)$
5. L4-viva se for L1-viva para todas as marcações da rede

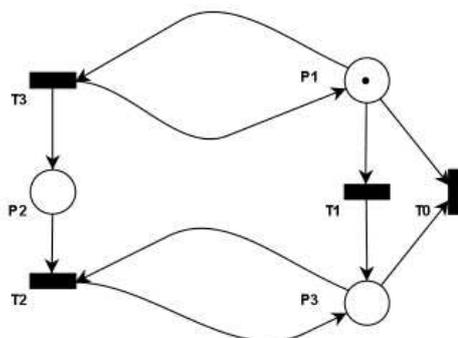


Figura 5.3: Níveis de vivacidade em uma rede de petri

Assim, ao interpretar a rede de Petri da figura 5.3, podemos afirmar que as transições t_0 , t_1 , t_2 e t_3 , são rotuladas por L0-viva, L1-viva, L2-viva e L3-viva, respectivamente.

- Redes Bem-formadas: Uma rede PN possui essa propriedade quando existe um estado M no qual (PN, M) é vivo e limitado
- Redes fortemente conectadas: Quando, para qualquer par de nodes (lugares e transições) x e y , existe um caminho levando de x a y .
- Máquinas de estado: Se para, cada transição, existe exatamente um lugar de entrada e um lugar de saída.
- Persistência: Uma rede de Petri (N, M_0) é dita persistente se, para duas transições habilitadas, o disparo de uma nunca deixará a outra desabilitada. Uma transição nas redes com essa característica, uma vez que seja habilitada, permanecerá nesse estado até seu disparo.

As propriedades estruturais são aquelas que dependem de estruturas topológicas da rede e, como mencionado anteriormente, persistem independente de qualquer marcação M_0 inicial. A definição dessas propriedades, que podem ser caracterizadas pela sua Matriz de incidência (assunto que será visto ainda neste capítulo), são enumeradas logo a seguir.

- Redes Conservativas são aquelas cujo o número total de *tokens* na rede não se altera durante o seu funcionamento.
- uma Rede de Petri é dita repetitiva se existe um sequência de disparos s tal que toda transição $t_i \in T$ dispara um número infinito de vezes em s .
- Consistência é uma propriedade estrutural que avalia se, para uma sequência de disparos s , toda transição $t_i \in T$ dispara ao menos uma vez em s .

5.1.4 Métodos de Análise

As principais técnicas de análise oferecidas pelas redes de Petri, de um modo geral, são classificadas nos seguintes grupos:

- Análise por enumeração das marcações: Envolve, basicamente, a enumeração de todas as marcações que podem ser alcançadas a partir de uma marcação inicial M_0 e pode ser aplicada a qualquer tipo de rede de Petri, apesar de ser aconselhável a modelos pequenos devido à complexidade para entender explosões de gráficos com muitos estados. A representação dessas marcações se dá por uma árvore de cobertura que traça a sequência de disparos possíveis e os respectivos estados da rede a partir dessa marcação inicial, como podemos verificar a partir das figuras 5.4(a) e 5.4(b).

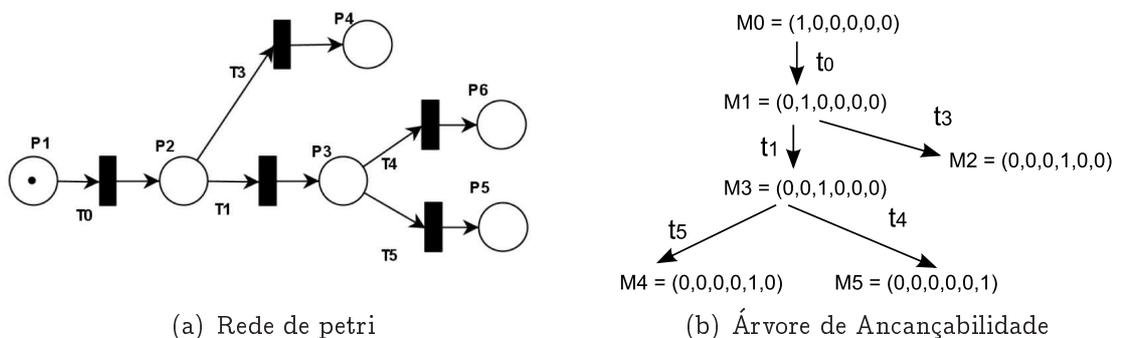


Figura 5.4: Rede de Petri e sua árvore de alcançabilidade

Na árvore de alcançabilidade, cada nó é rotulado por uma marcação (nó raiz da árvore é marcado como a marcação inicial M_0), enquanto que cada arco por uma

transição da rede. A partir da análise da árvore de alcançabilidade, propriedades comportamentais da rede como vivacidade, alcançabilidade podem ser comprovadas de forma efetiva (Zurawski & Zhou, 1994). Podemos citar como exemplo desse tipo de análise:

- Uma transição é dita morta em uma rede se a mesma sequer aparecer em sua árvore correspondente.
- Ao encontrarmos um símbolo ω , podemos concluir que a rede é ilimitada e propriedades importantes como vivacidade e alcançabilidade não podem ser avaliados com apenas esse método de análise.
- Em caso contrário, quando não existem símbolos ω na rede, ela é limitada e se ainda possuir apenas número 0 e 1 em suas marcações é uma rede segura.

Para efeitos de nosso estudo de caso, um de nossos objetivos é que a modelagem dos *workflows* analisados resultem em redes limitadas, representando semanticamente, que todos os processos devem ter um fim definido. Sendo assim, a árvore de alcançabilidade, também chamada nesses casos de árvore de cobertura, será uma das ferramentas adotadas para diagnóstico desses processos.

- Análise estrutural: Técnica de análise muito poderosa que, quando comparada ao modelo anterior, não possui o problema de se resumir a redes pequenas, apesar de ser aplicável apenas a situações especiais ou a subclasses das redes de Petri. Em Murata (1989), são apresentadas equações matriciais para descrição e análise do comportamento dinâmico de sistemas concorrentes modelados por redes de Petri. Como exemplo, a rede de petri da figura 5.4(a), tem sua uma matriz de incidência de acordo com a relação entre as transições e lugares da rede. Para se obter uma matriz de incidência, um passo preliminar é a obtenção das matrizes *Pre* (peso de cada arco que leva uma transição a um lugar) e *Post* (peso de cada arco que leva um lugar a uma transição), que logo em seguida levam a uma Matriz $C = Post - Pre$ como vemos logo a seguir.

$$\begin{array}{c}
 \text{Matriz } \mathit{Post} \\
 \begin{array}{ccccc}
 & T_0 & T_1 & T_3 & T_4 & T_5 \\
 P_1 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_2 & \left(\begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_3 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_4 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_5 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \\
 P_6 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right)
 \end{array}
 \end{array}
 -
 \begin{array}{c}
 \text{Matriz } \mathit{Pre} \\
 \begin{array}{ccccc}
 & T_0 & T_1 & T_3 & T_4 & T_5 \\
 P_1 & \left(\begin{array}{ccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_2 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_3 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array} \right) \\
 P_4 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_5 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_6 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)
 \end{array}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \text{Matriz de Incidência} \\
 \begin{array}{ccccc}
 & T_0 & T_1 & T_3 & T_4 & T_5 \\
 P_1 & \left(\begin{array}{ccccc} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_2 & \left(\begin{array}{ccccc} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_3 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 1 & 0 & -1 & -1 \end{array} \right) \\
 P_4 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right) \\
 P_5 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \\
 P_6 & \left(\begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right)
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

Duas propriedades especialmente úteis para análise a partir de matrizes de incidência são as invariantes de lugar e de transição. As denominadas *P-invariants*

e *T-invariants*, respectivamente. Não entramos em muitos detalhes sobre o assunto pelo fato dessa técnica não ser utilizada nesse trabalho.

- Técnicas de Redução e Decomposição: No intuito de facilitar a análise de sistemas de grande porte, são também comuns as tentativas de redução de modelos para versões mais simplificadas, através de técnicas de redução e decomposição de uma rede, com a condição dessa nova versão manter todas as propriedades (estruturais e comportamentais) de sua versão original. Existem várias técnicas que permitem esse tipo de transformação. A figura 5.5, mostra os tipos mais utilizados.

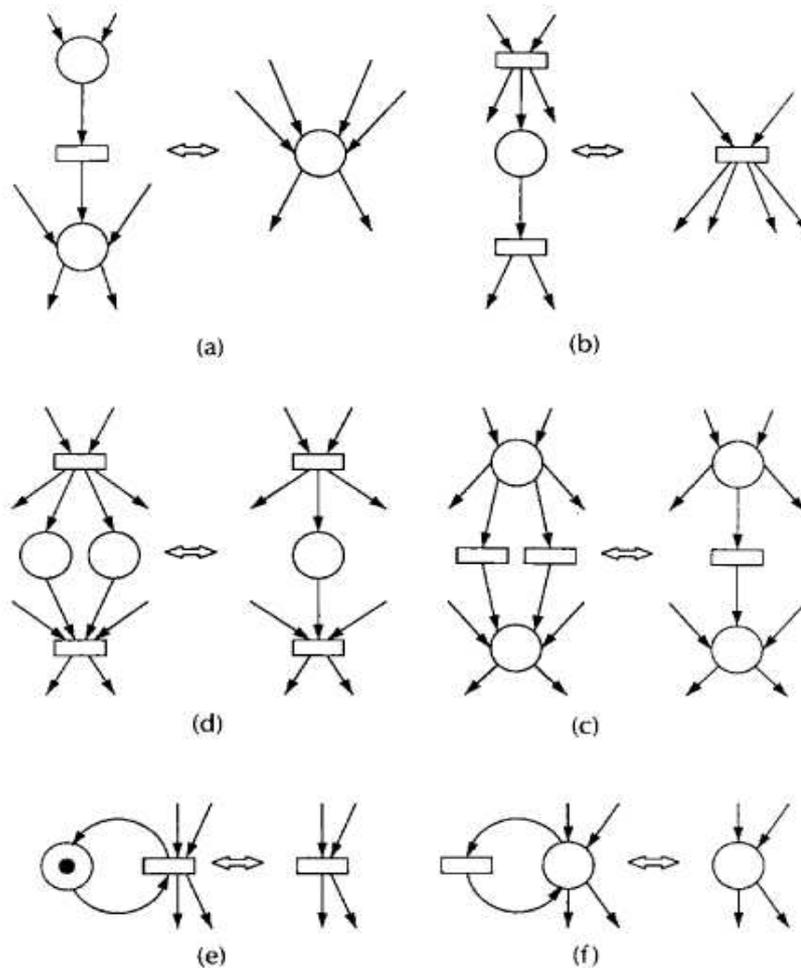


Figura 5.5: Técnicas de redução aplicadas nas redes de Petri: (a) Fusão de lugares em série; (b) Fusão de transições em série; (c) Fusão de transições em paralelo; (d) Fusão de lugares em paralelo; (e) Eliminação de lugares com repetição interna; (f) Eliminação de transições com repetição interna

As técnicas de redução e composição serão especialmente úteis no estudo de caso desse trabalho que, pelo fato de em alguns momentos gerar modelos com uma grande quantidade de elementos, poderá fazer uso de reduções em sua modelagem com o objetivo de facilitar a verificação de algumas propriedades da rede.

5.1.5 Aplicações

As redes de Petri podem ser aplicadas em vários tipos de sistemas, estudando seu comportamento e as relações entre seus componentes e classificando-os como: concorrentes, assíncronos, distribuídos, paralelos, não determinísticos, entre outros. Devido a sua natureza gráfica, pode ser utilizada para comunicação visual e, por ser um modelo formal, permite determinar com clareza e sem ambiguidades o comportamento de um determinado sistema de informação, bem como verificar propriedades que o mesmo deve apresentar (Murata, 1989).

Podemos citar como exemplos de aplicação das redes de Petri: sistemas flexíveis na área de manufatura, sistemas embarcados, sistemas de tempo real, automação de escritórios, protocolos de rede e estruturas de hardware. Além dessas aplicações, áreas como telecomunicações, comércio eletrônico, indústria naval, tráfego aéreo e modelagem de processos de negócio em diversos domínios (como é o caso dos sistemas médicos e da área de saúde em geral) são apontados como destaque por vários grupos de pesquisa (Aarhus, 2009) e pelos maiores eventos dedicados ao tema (PetriNets, 2009).

5.2 Redes de Petri de Alto Nível

Apesar do forte embasamento matemático estabelecido pelas redes de Petri, o modelo convencional (redes de baixo nível), tem sua habilidade reduzida quando a rede precisa de muitos elementos para modelar e analisar o comportamento de sistemas reais de grande porte. Assim, as redes de Petri de alto nível, foram criadas para resolução de problemas com características mais avançadas e em larga escala através de representações mais concisas e com maior poder para representação, sem a perda de sua natureza formal. Algumas das principais diferenças entre as redes de baixo e alto nível é que no segundo tipo, os *tokens* podem ter propriedades distintas em uma mesma rede, além de mudanças de semântica no comportamento das transições, lugares e arcos de ligação entre os seus elementos. Para que possamos observar a distinção entre o modelo original e as redes de Petri de alto nível, observaremos nessa seção, os principais tipos de rede de Petri, suas extensões, modificações e outras características adicionais.

5.2.1 Tipos de Redes de Petri

Uma das formas mais utilizadas para classificar as redes de Petri, consiste em agrupá-las de acordo com seu grau de abstração, separando-as em redes de baixo e alto nível. As primeiras possuem como principal característica as marcas (*tokens*) não diferenciáveis com características apenas booleanas, podendo ainda ser subdivididas nos tipos: elementar ou lugar/transição. As redes elementares, também conhecidas por redes clássicas

ou condição/evento são aquelas que ainda conservam as características do modelo original criado por Petri em 1962. Através do exemplo da figura 5.6, observamos uma rede de petri elementar que modela o conhecido problema dos produtores e consumidores através de um cenário onde funciona um teleférico com vagões e turistas em uma estação.

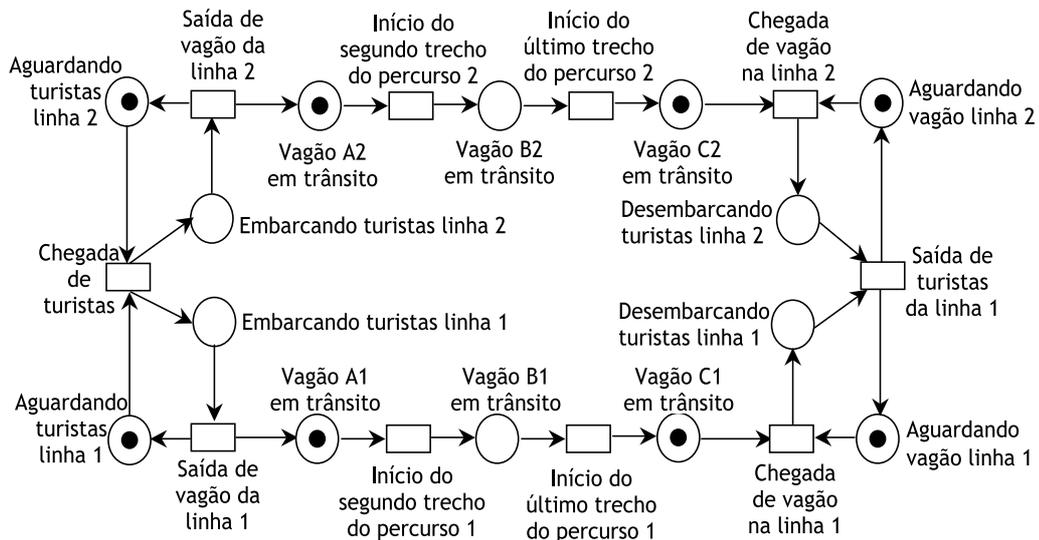


Figura 5.6: Rede elementar modelando um teleférico com seis vagões e duas linhas

Enquanto as redes elementares seguem o modelo original, as redes do tipo lugar/-transição relaxam essas restrições com a possibilidade de permitir mais de uma marca (de forma ilimitada ou com parâmetros de capacidade) em um mesmo lugar da rede e pesos nos arcos de ligação, forma essa muito utilizada, por permitir uma melhor compactação dos modelos. Já por conta dessa pequena mudança, como podemos ver na figura 5.7, a modelagem do mesmo cenário da figura anterior com redes lugar/transição (Marranghello, 2005) é bem mais compacto e com maior poder de representação, devido às modificações mencionadas.

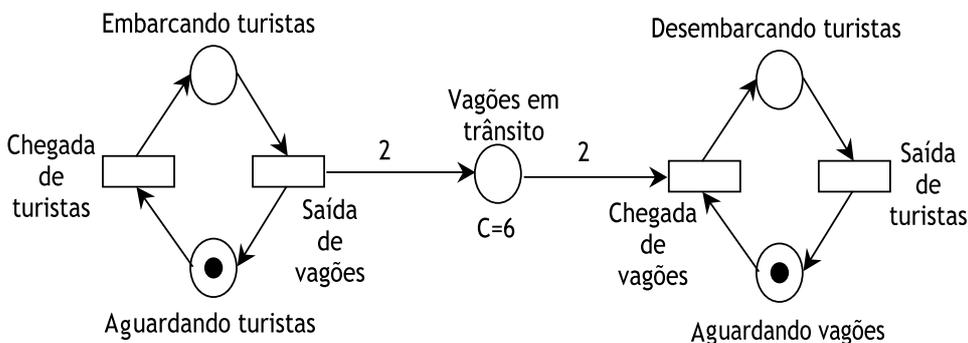


Figura 5.7: Rede lugar/transição modelando teleférico com seis vagões e duas linhas

Todavia, quando comparadas com as redes de baixo nível, o surgimento das redes de

alto nível trouxe um avanço muito maior no poder de expressão oferecido pelas redes de Petri, mesmo considerando as contribuições do modelo lugar/transição, como veremos na seção seguir.

5.2.2 Adicionando Atributos aos *Tokens* da Rede

As redes de Petri coloridas foram desenvolvidas entre os anos 70 e 80, incorporando propriedades para representação de dados nos sistemas e podendo utilizar a decomposição hierárquica sem comprometer as propriedades do mesmo modelo representado por redes de Petri elementares. Um dos principais objetivos das redes coloridas é a redução do tamanho do modelo obtido com redes tradicionais, permitindo que marcas individualizadas representem recursos ou processos com características diferentes em uma mesma rede. Essas marcas individualizadas foram inicialmente representadas por cores ou padrões que posteriormente evoluíram para estruturas de dados mais complexas, definidas como tipos de dados onde se podem efetuar operações sobre os mesmos (Jensen, 1997). Através da figura 5.8 podemos dar um exemplo simples de uma rede de Petri colorida, no qual se associa ao arco uma determinada cor e o *token* se destina apenas ao arco cuja cor for idêntica à marca.

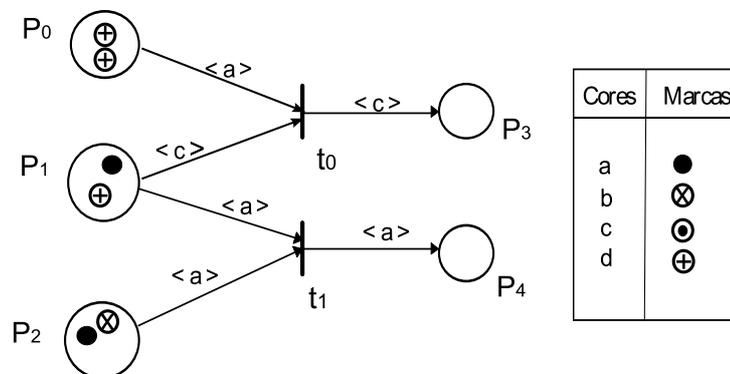


Figura 5.8: Exemplo de uma rede de Petri colorida

Com uma abordagem similar às redes coloridas, as redes predicado/transição, que se baseiam na lógica de predicados de primeira ordem, são uma subclasse das redes de Petri que podem funcionar, por exemplo, como uma representação matemática dos sistemas baseados em conhecimento (SBC). Nesse tipo de rede, a representação das regras ou fatos do SBC é feita pelas transições e os predicados são representados por relações aplicadas a um número específico de argumentos, que recebem os valores verdadeiro ou falso a partir do disparo dessas transições (Shen & Juang, 2008). Através da figura 5.9 vemos um exemplo de uma rede de Petri do tipo Predicado/Transição.

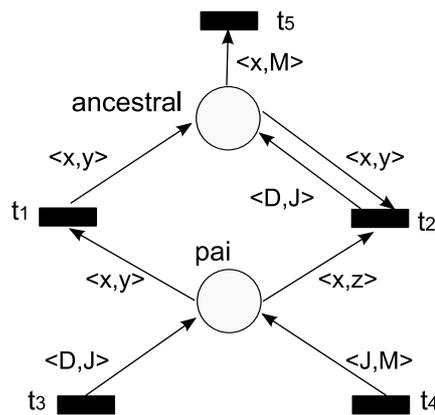


Figura 5.9: Modelo de uma rede de Petri Predicado/Transição

5.2.3 Extensão das redes de Petri de alto nível

Enquanto que as redes de alto nível possuem como característica a compatibilidade com o modelo tradicional (como é o caso das redes Coloridas), existem ainda várias outras extensões ou modificações criadas para esse modelo formal que adicionam características que muitas vezes não podem ser representadas em seu formato mais simples. Esse tipo de solução é muitas vezes bastante poderoso mas normalmente não existem ferramentas matemáticas suficientes para sua análise como na rede de Petri clássica. Veremos algumas dessas modificações a seguir.

- Redes de Petri temporizadas e temporais: Para que seja possível a especificação de aspectos temporais de um sistema com redes de Petri, como por exemplo em casos de sistemas de tempo real, avaliações do desempenho de sistemas dinâmicos e a observação de questões referentes ao seu escalonamento, é necessário que se considerem informações relativas ao tempo na fase de especificação do processo. Sendo assim, as redes de Petri temporizadas, definidas em trabalhos como os de C. Ramchandani em 1976, são as extensões que buscam acrescentar a possibilidade de análise no domínio do tempo para avaliar a performance de sistemas computacionais (Coolahan & Roussopolos, 1983).
- Redes de Petri Estocásticas Uma derivação de redes de Petri temporizadas são as redes de Petri estocásticas (SPN). Um modelo de rede onde cada transição é associada a uma variável aleatória, distribuída de forma exponencial para representar o atraso de seu disparo logo após essa mesma transição estar habilitada.

Como o principal objetivo desse projeto é o estudo da variação dedicada à modelagem de *workflows*, iremos nos ater apenas ao estudo dessa categoria de extensão. Informações mais detalhadas sobre redes de alto nível podem ser encontradas em Geroiannis et al. (1998).

5.3 Redes de Petri no contexto dos *workflows*

Uma vez familiarizados com a origem, propriedades, aplicações e classificações das redes de Petri, voltamos a restringir nosso interesse para a modelagem de *workflows*. Faremos assim, nessa seção, um mapeamento dos principais conceitos vistos até aqui sobre redes de Petri junto ao universo dos *workflows* e às perspectivas de especificação adotadas em nossa metodologia para gerenciamento de processos de negócio.

5.3.1 Especificação de um Processo

Tomando como base a visão em três dimensões de um *workflow* (van der Aalst, 1998), vista na figura 4.2, a dimensão referente ao processo especifica quais tarefas devem ser executadas e em qual ordem isto deve acontecer. Quando relacionamos redes de Petri e modelagem de *workflows*, essas tarefas são representadas pelas transições, as condições de roteamento dessas tarefas pelos lugares enquanto que os casos são modelados pelos *tokens* presentes na rede. A figura 5.10 mostra a modelagem de um sistema de gestão de reclamações com base nessas prerrogativas. A condição inicial do processo é representada por i e a condição final pelo rótulo o .

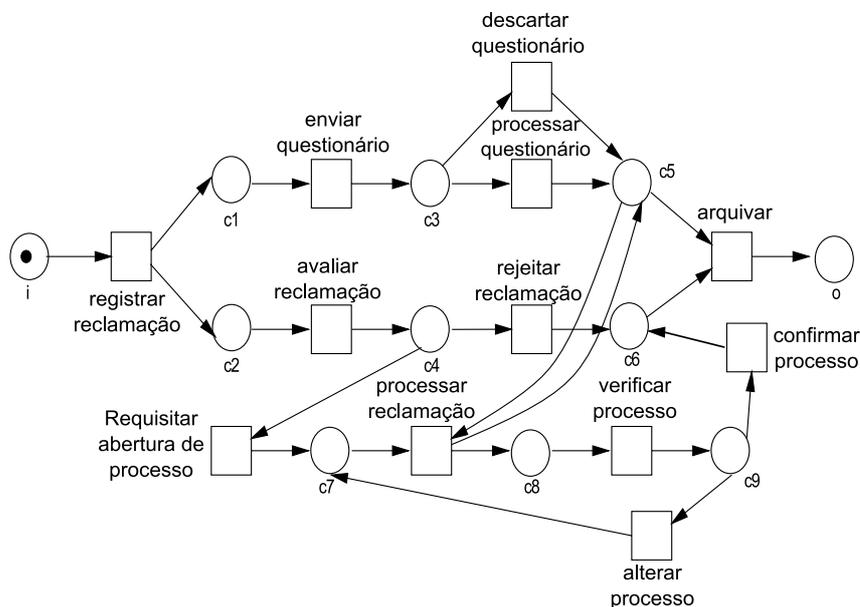


Figura 5.10: Sistema para processamento de reclamações modelado com redes de Petri

Observando mais detalhadamente a figura 5.10, o modelo sugere apenas o ciclo de vida de um caso isolado, representado por um único *token*. Entretanto, muitos casos podem ser tratados pela mesma especificação de *workflow*, cada um correspondendo vários *tokens* dispersos pela rede, o que pode gerar modelos confusos e difíceis de interpretar, como sugere a figura 5.11.

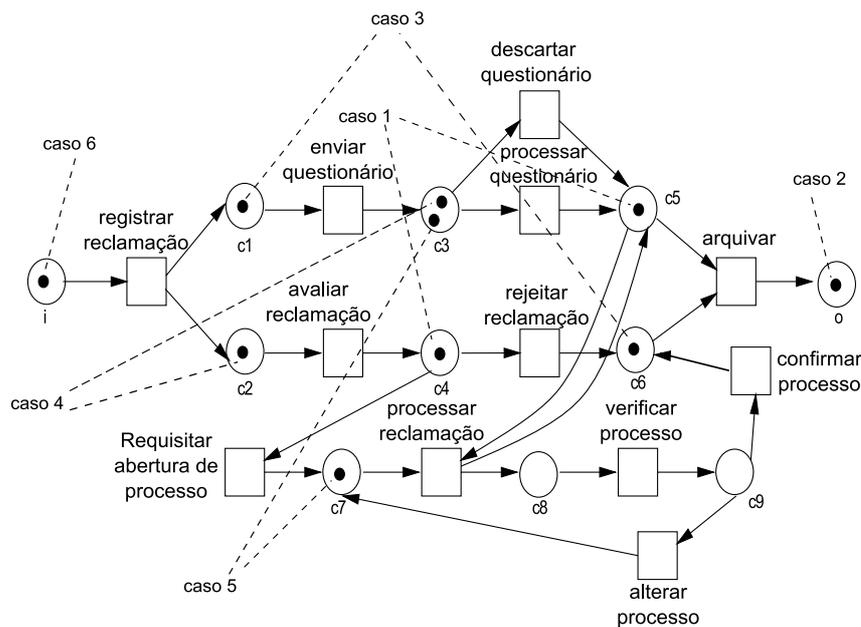


Figura 5.11: Mesmo sistema representado com vários casos em execução

Duas soluções alternativas são propostas por van der Aalst (1998) para resolver o problema. A primeira consiste em usarmos os conceitos das redes de alto nível através da atribuição de valores aos *tokens* (como vimos no caso das redes coloridas, a fim de diferenciá-los no decorrer do processo) e a segunda, em manter apenas um caso para cada instância da rede, tratando-as como camadas de um *workflow*. A segunda abordagem, considerada mais interessante pelo autor sob o ponto de vista de gestão dos processos, foi denominada *Workflow-Net*, variação das redes de Petri especialmente criada para modelagem de processos de *workflow* com a análise dos casos de forma isolada. O estudo das *Wf-Nets* e sua participação na metodologia adotada para gestão de processos de negócio é um dos principais objetos de estudo desse trabalho.

5.3.2 Wf-Nets: Redes de Petri para Modelagem de *Workflow*

Quando comparadas com as redes de Petri convencionais, as *workflow-nets* possuem algumas características especiais. Inicialmente, este tipo de rede deve possuir dois tipos de lugar com características diferenciadas, representados por *i* (*source*) e *o* (*sink*) correspondendo, ao início e ao término de processamento de um caso de *workflow*, respectivamente. Em segundo lugar, para cada transição *t*, deverá existir um caminho direto entre os *places* *i* e *o* através de *t*. Uma rede de Petri que satisfaz esses requisitos foi denominada por van der Aalst (1998) de *Workflow-net*, como mostramos de forma abstraída na figura 5.12.

Formalizando esses conceitos, podemos afirmar que uma rede de Petri $PN = (P, T, F)$ é uma *workflow-net*, se e somente se:

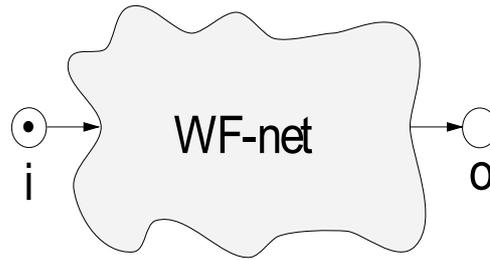


Figura 5.12: Abstração de uma WF-Net

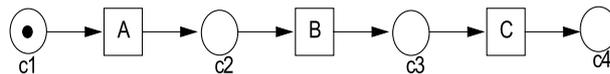
- PN possuir dois *places* especiais: i e o . *Place* i é um *source place*: $\bullet i = \emptyset$. *Place* o é um *sink place*: $o \bullet = \emptyset$.
- Se adicionarmos uma transição t^* à rede PN que conecte os *places* o e i (ou seja, $\bullet t^* = \{o\}$ e $t^* \bullet = \{i\}$), a rede resultante dessa modificação é fortemente conectada.

O estabelecimento dessas condições, não garante que um *workflow* modelado por Wf-nets seja totalmente confiável e imune a eventuais *deadlocks*, *livelocks* ou outros tipos de erro durante seu funcionamento. Critérios para garantir a confiabilidade desses modelos (principalmente para fins de análise) serão avaliados no decorrer do capítulo.

5.3.3 Construção de rotas

Em se tratando do roteamento de casos de um *workflow*, quatro tipos básicos são identificados: sequencial, paralelo, condicional e iterativo. Nesse sentido, as *Wf-Nets* podem modelar a construção de cada uma dessas rotas, através dos blocos de construção fundamentais como: AND-split, AND-join, OR-split e OR-join e as variações *explicit* OR-split (XOR-split) e *explicit* OR-join (XOR-join) como descreveremos logo a seguir:

- Rota sequencial: Usada para modelar, através de uma sequência de *places*, relações de dependência entre as tarefas de um processo. Essas relações podem representar, por exemplo, pré ou pós-condições de execução.

Figura 5.13: Rota sequencial em um processo de *workflow*

- Rota em paralelo: Usada em situações onde a ordem de execução das tarefas é menos restrita. Para esse tipo de modelagem, são usados os blocos AND-split e AND-join, como na figura 5.14.

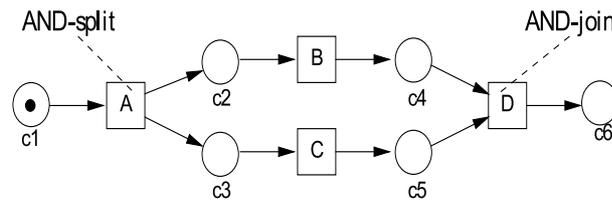


Figura 5.14: Rota em paralelo em um processo de *workflow*

- Rota condicional: Adotada para permitir roteamentos que podem variar entre os vários casos de um *workflow*, de acordo com seus atributos, comportamento do ambiente de execução e carga de trabalho da organização. Para a modelagem desse tipo de situação, como exibido na figura 5.15(a), são usados os blocos *OR-split* e *OR-join*. No entanto, ambas as formas de escolha, que são feitas de modo exclusivo, poderão ser representadas por notações especiais (*explicit OR-split* e *explicit OR-join*) quando se basearem nos atributos do *workflow*, conforme figura 5.15(b).

A importância da diferenciação entre o *implicit* e o *explicit* *OR-split*, apesar de pouco difundida é fundamental para a modelagem de *workflows*. Uma explicação mais detalhada sobre o assunto será feita em seguida na abordagem sobre os gatilhos da próxima subseção.

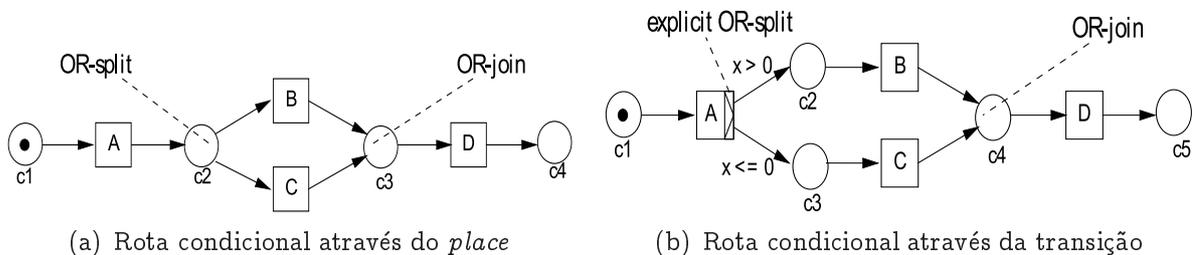


Figura 5.15: Rotas condicionais em um processo de *workflow*

- Rota iterativa: Normalmente considerada a forma menos desejável de roteamento, a iteração (figura 5.16) corresponde a uma execução repetida uma mesma tarefa e sem o significado de progressos reais no processo. Apesar dessa condição, muitos processos de modelagem de *workflow* não podem evitar esse tipo de rota, o que também acontecerá em nosso estudo de caso.

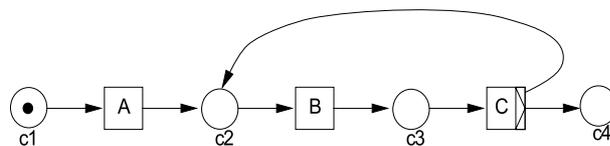


Figura 5.16: Rota iterativa em um processo de *workflow*

5.3.4 A Importância dos Gatilhos

Como a modelagem de um processo de *workflow* define, entre outros fatores, quais tarefas de um caso específico devem ser executadas e em qual ordem, é importante se observar que nem toda tarefa é executada de forma imediata. Assim, é essencial para uma modelagem bem feita a distinção entre o ato de habilitar e executar uma tarefa. Por esse motivo, foram introduzidos os gatilhos (*triggers*) nesse domínio, conceito que define as condições externas que levam a execução de tarefas habilitadas. van der Aalst (1998) lista quatro tipos de gatilhos em processos de *workflow*:

- Automático: Quando a tarefa é executada imediatamente após sua habilitação. Muito usado em processos automatizados e sem a intervenção humana.
- Orientado a usuário: Um gatilho é disparado de acordo com uma participação humana, quando um usuário seleciona uma tarefa habilitada para execução.
- Orientado a mensagens: Um evento externo em forma de mensagem dispara a transição. Podemos citar como exemplo: chamadas telefônicas, mensagens de fax, *e-mails* ou mensagens no formato EDI.
- Orientado ao tempo: Uma transição habilitada é executada depois de um tempo pré-definido, gerenciado por um relógio.

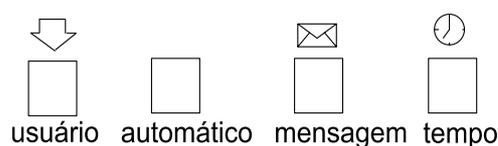


Figura 5.17: Tipos de gatilho em um processo de *workflow*

A figura 5.17 apresenta as formas de representação dos gatilhos, segundo van der Aalst (1998). Aliando essas notações às relativas aos tipos de rota em um processo, o exemplo do sistema de gestão de reclamações da figura 5.10 pode agora ser visto na ótica das redes Wf-net.

A partir da figura 5.18, pode-se verificar o ganho de informações por conta do uso dessas notações, quando comparadas com a forma clássica de representar tarefas, nas transições de uma rede de Petri. Como exemplo, observa-se o ponto da rede que mostra escolha entre as tarefas *processar questionário* e *descartar questionário*. Como o disparo de *descartar o questionário* é adiado ao máximo, de acordo com parâmetros de tempo pré-definidos, esse tipo de notação é muito mais completo, já que o uso da outra abordagem (*explicit OR-split*), baseado em atributos do *workflow* (não representados na rede), poderia rejeitar questionários enviados em tempo hábil de maneira incorreta.

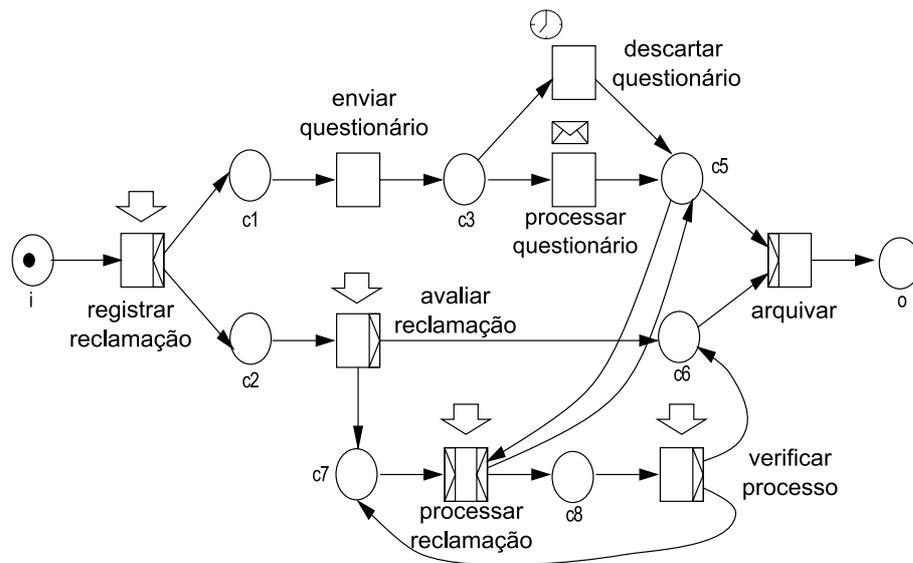


Figura 5.18: Gerenciamento de reclamações modelado com uma WF-Net

Situações como essas mostram o poder de expressão e o diferencial em usar *workflows* para a modelagem de *workflows*.

5.3.5 Tarefas, itens de trabalho e atividades

Uma tarefa consiste em apenas uma parte do trabalho em um processo de *workflow* e funciona de forma genérica, ou seja, é útil para várias instâncias do processo ao invés de apenas um caso isolado. No intuito de eliminar confusões entre a existência de uma tarefa, sua habilitação e execução, van der Aalst (1998) introduziu aos seus trabalhos os termos: item de trabalho (*work item*) e atividade, já mencionadas no capítulo anterior, na seção referente aos conceitos básicos de um *workflow* e agora mapeados para a terminologia das redes de Petri.

Segundo a visão do autor, ao fazer esse mapeamento, tarefas correspondem a transições, itens de trabalho a transições habilitadas e atividades à execução de transições. Em relações aos gatilhos, mencionados anteriormente, essa analogia os relaciona com os *tokens* contidos em um lugar de entrada de uma tarefa (transição) do processo.

5.3.6 Classificação e Gerenciamento de Recursos

A dimensão relativa aos recursos de um *workflow* (como já vimos anteriormente sobre à perspectiva organizacional) se preocupa, por exemplo, com questões organizacionais como a formação de perfis de trabalho e controle de acesso a sistemas de *workflow*.

Para evitar prejuízos à flexibilidade de um processo, recursos podem ser agrupados por ferramentas em classes com características em comum. Como vemos na figura 5.19,

dois tipos de recurso comumente usados nesse domínio são os papéis e as unidades organizacionais. O primeiro baseado nas capacidades do recurso (administrador, equipe de suporte, analista de negócio, entre outros) e o segundo na estrutura da organização (departamento, superintendência, ministério, entre outros).

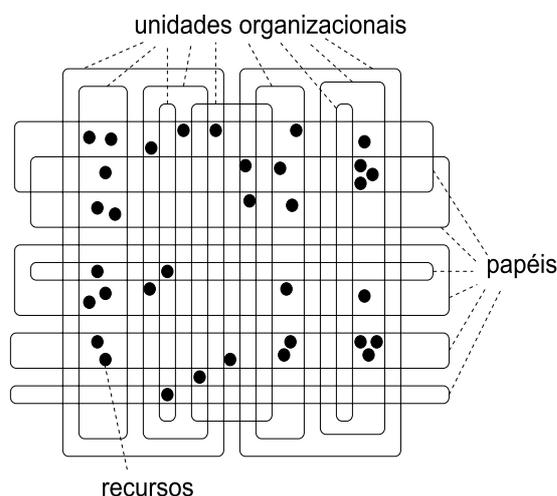


Figura 5.19: Classificação de recursos em um *workflow*

Dependendo das variáveis existentes em um processo de negócio, uma avaliação mais detalhada sobre a participação dos recursos na modelagem de um *workflow* pode ser obrigatória. Podemos citar como exemplo, o cenário onde muitos recursos disputam a execução do mesmo item de trabalho. Assim, deve existir algum tipo de mecanismo para o sistema de *workflow* possa decidir entre esses recursos. Porém, como o estudo avançado dessa dimensão está fora do nosso escopo de estudo, não iremos nos aprofundar no assunto.

5.4 Análise de *Workflows*

A certeza de que processos de negócio modelados através de um sistema de *workflow* não apresentem erros lógicos é fundamental para escolha desse tipo de tecnologia nas organizações. Como fundamentamos a modelagem desses sistemas em torno das redes de Petri, os tipos de análise oferecidas por essa ferramenta, no contexto dos *workflows*, são:

- Validação: Pode ser feita através uma simulação interativa onde uma variedade de estados fictícios do *workflow* são configurados em ferramentas que irão avaliar como o sistema se comporta com o disparo de transições a partir de marcações pré-fixadas.

- Verificação: Análises quantitativas e qualitativas do *workflow*, através técnicas como árvores/grafos de alcançabilidade, técnicas de redução e decomposição e matrizes de incidência.
- Análise de performance: As técnicas de simulação podem ser ainda usadas para estimar indicadores de performance do *workflow* como média de casos por período, média de tempo de espera por recurso, taxa de ocupação dos recursos, média de casos pendentes, entre vários outros.

5.4.1 Análise de WF-Nets

As *Workflow-nets*, poderão ter suas propriedades avaliadas através de todas as técnicas de análise mencionadas anteriormente e dentre alguns dos problemas que podem ser encontrados, listamos alguns a seguir:

- Tarefas do *workflow* sem a condição necessária para execução
- Tarefas mortas, indicando que o sistema nunca atinge um estado propício à sua execução
- *Deadlock*: A instância do *workflow* tem sua execução bloqueada, de forma que essa condição nunca será alterada.
- *Livelock*: O *workflow* entra em um ciclo interminável, que nunca terá uma condição de saída.
- Tarefas pendentes para execução ao fim de todo o processo.
- Permanência de *tokens* na rede após a execução de todas as transições, indicando a má utilização de recursos do sistema.

Diante dessas possibilidades e para garantir o nível de correção ideal de um *workflow*, van der Aalst (1998) definiu através de algumas propriedades, as condições mínimas de modelagem aplicadas nas *workflow-nets*. Essas propriedades irão garantir que o sistema de *workflow* se comporte de acordo com o que foi especificado, dando a segurança necessária para sua implantação.

5.4.2 Propriedades Desejáveis para Análise das *WF-nets*

Considerando a definição de Wf-nets apresentada na seção 5.3.2, foi observado por van der Aalst (2000b) que quando avaliadas de maneira mais criteriosa, as características presentes nessa definição poderiam ser verificadas apenas estaticamente, pois se relacionam apenas à estrutura da rede. Além destas, outras propriedades, que tratassem da dinâmica da rede, devem ser observadas. Uma delas salienta o seguinte:

- Para qualquer caso de um workflow, a execução de todos os seus procedimentos deve, em algum momento, terminar e quando isso ocorrer, deverá existir apenas um token no lugar o e todos os outros lugares devem estar vazios.

Além disso, não deverão existir tarefas mortas. Ou seja, é possível a execução arbitrária de qualquer uma das tarefas da rede a partir de alguma das rotas da *Wf-net*. Esses dois novos requisitos correspondem à propriedade *Soundness*, que terá grande importância para análise de *workflows* e consequentemente de nosso estudo de caso.

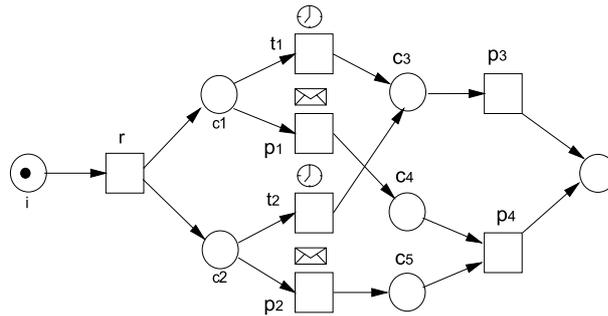


Figura 5.20: Exemplo de Wf-Net sem a propriedade *Sound*

A figura 5.20 visa mostrar deficiências em redes não *Sound*. Ao observar a figura, nota-se que combinações de disparo como t_1p_2 ou t_2p_1 colocarão esse exemplo em estado de *deadlock*, com *tokens* presos em c_4 ou c_5 . Além disso, com a combinação de disparos t_1t_2 , a tarefa p_3 será executada duas vezes, deixando dois *tokens* no *place* o e isso não deixará claro o momento exato do término do processo.

Sendo assim, dada a importância de se comprovar e garantir a propriedade *Sound* em *wf-nets*, van der Aalst (1997) provou que uma rede PN é dita *Sound* se sua rede \overline{PN} correspondente for viva e limitada. Entende-se por $\overline{PN} = (\overline{P}, \overline{T}, \overline{F})$ uma rede estendida de PN onde é adicionada uma transição extra t^* , como pode ser visto na figura 5.21 que conecta os *places* i e o .

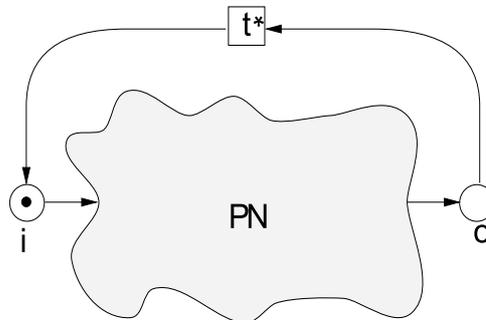


Figura 5.21: Rede $\overline{PN} = (P, T \cup \{t^*\}, F \cup \{\langle o, t^* \rangle, \langle t^*, i \rangle\})$

Por fim, apesar da propriedade *Soundness* se mostrar de grande utilidade na análise de uma Wf-net, a tarefa de identificar essa característica se torna difícil em redes complexas. Assim, para que seja possível uma análise complementar das redes *Sound*,

finalizaremos esta seção com as definições de sub-classes específicas das Wf-nets: as redes *Free-choice* e as redes bem-estruturadas.

- Redes *Free-choice*: Uma rede de Petri é considerada uma rede *Free-choice* se, para duas transições t_1 e t_2 , $\bullet t_1 \cap \bullet t_2 \neq \emptyset$ implica que $\bullet t_1 = \bullet t_2$. Ou seja, se duas transições t_1 e t_2 compartilham um lugar de entrada, as mesmas devem fazer parte de um bloco condicional OR-split, de modo que o conjunto de todos os *places* de entrada dessas transições deve ser o mesmo.

A preferência pela formação de *workflow-nets* que atendam esses critérios se dá por vários motivos. Além de ficar comprovado que formações fundamentais para o funcionamento de um *workflow* como paralelismo, rotas sequenciais, rotas condicionais e iterações podem ser mantidas sem ferir a propriedade *free-choice*, os mesmos estudos de van der Aalst (1997) mostram que a escolha entre tarefas em conflito nas redes que não possuem esse pré-requisito pode ser decidida pela ordem de execução das tarefas anteriores. O que não é adequado para um *workflow*, onde o roteamento de um caso deve ser independente da ordem de execução das tarefas.

Um estudo mais aprofundado sobre as redes *free-choice* está fora do escopo desse trabalho, mas a modelagem de *Wf-nets* de nosso estudo de caso terá como um de seus objetivos a preservação dessa característica, que garantem um bom equilíbrio entre potencial para análise e poder de expressão. Complementando, para garantir que as redes *free-choice* obtidas nesse trabalho possuam também a propriedade *Soundness*, seguiremos o Lema que garante o seguinte:

- *Uma Sound Free-choice Wf-net é uma rede segura* (van der Aalst, 2000b)

Segurança é um propriedade igualmente desejada nas redes de Petri que modelam um *workflow*, uma vez que não terá sentido a presença de mais de um *token* em um único lugar para representar uma condição na rede ⁴.

- Redes bem estruturadas: Uma outra abordagem adotada, no intuito de se modelar bons *workflows* para efeitos de análise é o balanceamento entre os blocos AND/OR splits e AND/OR joins na construção de uma rede, como indica a figura 5.22. De acordo com essa visão, fluxos paralelos na rede, iniciados por um bloco AND-split não devem ser sincronizados por blocos OR-join. Adotando um raciocínio similar, dois fluxos alternativos, criados por um OR-split não devem ser sincronizados por um OR-join.

A formalização desses conceitos leva à definição das redes bem estruturadas, uma outra subclasse de wf-net, similar as redes *free-choice*, com características também

⁴Para mais informações, ver definição de rede segura na seção *Propriedades* desse capítulo.

desejáveis para o funcionamento de um *workflow*. Em ambos os casos, a propriedade *Soundness* pode ser verificada de forma eficiente e sua existência leva à formação de redes seguras. Entretanto, apesar das semelhanças, poderão existir redes bem-estruturadas sem a propriedade *free-choice* e também o contrário. Além disso, é ainda possível *workflow-nets* sem nenhuma das duas propriedades, o que será evitado nesse trabalho.

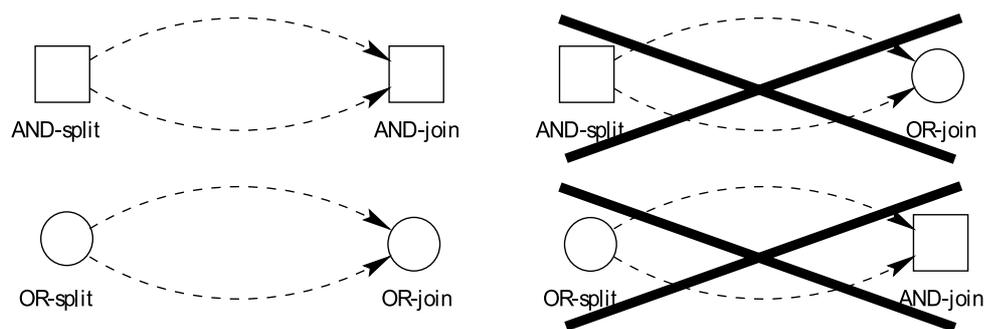


Figura 5.22: Boas e más construções para análise de WF-Nets

5.4.3 Decomposição e Composição de Wf-Nets Hierárquicas

As *workflow-nets*, a depender do problema modelado, podem ser bastante complexas no que se diz respeito ao número de tarefas, recursos envolvidos e um grande número de setores e atores envolvidos, como no caso da saúde pública. Este fato pode dificultar o entendimento da comunicação entre as partes envolvidas em modelagens de grande escala. Uma decomposição hierárquica nesses casos é utilizada e *workflows* de grande complexidade são decompostos no que van der Aalst (1996) chamou de *subflows*, que por sua vez também podem ser convertidos em *subflows* ainda menores, até que o nível de abstração desejado seja obtido. Esse mecanismo pode também facilitar o reuso das partes decompostas em outros modelos, fato que ocorre com muita frequência nessas situações.

Fatores como reuso e estruturação de modelos de grande porte requerem uma base hierárquica da rede, cujo conceito mais próximo suportado pelos sistemas de *workflow* é o refinamento de tarefas, como é mostrado na figura 5.23. Nesse conceito uma Wf-Net PN1 contém uma tarefa $t+$ que é refinada para outra Wf-Net PN2 e assim, $t+$ deixa de ser uma tarefa para se tornar uma referência a um *subflow*. Complementando essa visão de maneira mais prática, a figura 5.24 mostra um exemplo da técnica de decomposição aplicada à Wf-net do processo de reclamações já usado em seções anteriores e com a explosão de duas de suas tarefas em outras novas redes.

É importante ressaltar que, para fins de análise, propriedades importantes para as *Wf-nets* como aquelas vistas nas redes *free-choice* e bem estruturadas são preservadas

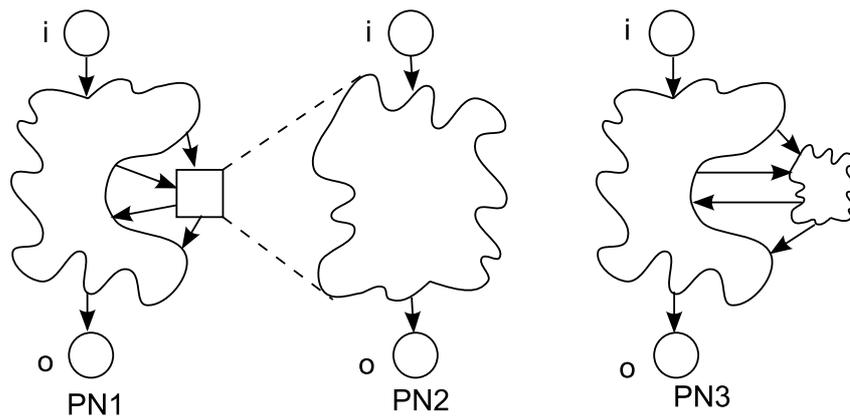


Figura 5.23: Uma WF-Net PN3 composta a partir de PN1 e PN2

pela técnica de decomposição hierárquica. Semanticamente podemos ainda afirmar que, depois da decomposição, a nova rede pode ser representada por PN_3 e, conseqüentemente, para as três novas redes PN_1 , PN_2 e PN_3 , van der Aalst (2000b) comprova formalmente cada uma das declarações a seguir:

- Se PN_3 é uma rede *free-choice*, então PN_1 e PN_2 também são *free-choice*
- Se PN_3 é uma rede bem-estruturada, o mesmo vale para PN_1 e PN_2
- Se (PN_1, i) é uma rede segura e PN_2 é *sound*, então PN_3 também é *sound*
- Se (PN_1, i) e (PN_2, i) são seguras e *sound*, se e somente se, (PN_3, i) for segura e *sound*
- PN_1 e PN_2 são *free-choice* e *sound*, se e somente se, PN_3 for *free-choice* e *sound*

Trabalhos como os de van der Aalst (1996, 1997, 1998) comprovam essas afirmações além de garantir que um *subflow* com as propriedades *safe* e *sound* pode ser representado por uma simples tarefa da rede. Isso permite uma estratégia modular de análise para se confirmar a propriedade *soundness* de um modelo mais complexo, como faremos em nosso estudo de caso. A abordagem *top-down* adotada em nossa metodologia irá projetar, inicialmente, modelagens compactas em alto nível de abstração dentro de domínios de escopo maior para uma análise posterior (de forma hierárquica e em domínios menores) de transições decisivas no formato de *subflows* mais detalhados.

5.4.4 Simulação a partir de Arquivos de Log

Como já mencionado anteriormente, a técnica de simulação é uma coleção de métodos e aplicativos utilizados para que possa ser feita a imitação do comportamento de sistemas reais. Aguilar-Saven (2004) afirma que a simulação pode ser classificada de acordo com

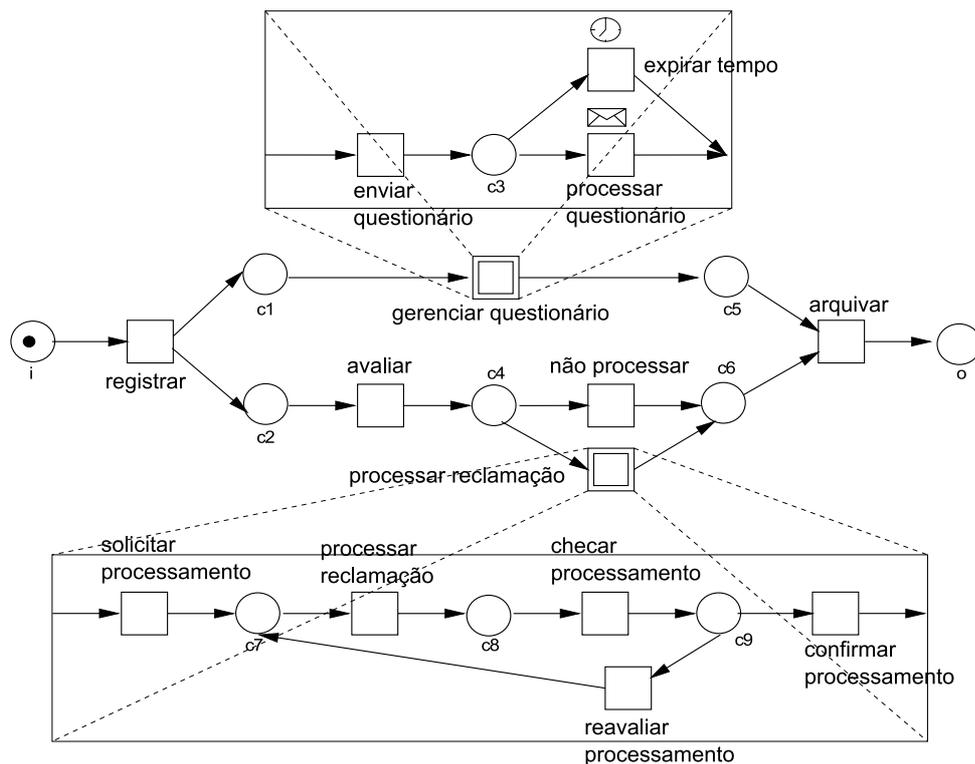


Figura 5.24: Uma Wf-Net hierárquica para um sistema de reclamações

diferentes características, como por exemplo: determinística (dados de entrada fixados) ou estocástica (dados de entrada randômicos), estática (sem influência do tempo) ou dinâmica e contínua (sistema muda de estado recorrentemente) ou discreta (eventos do sistema ocorrem em pontos isolados do tempo).

A necessidade de simular a execução de um *workflow* pode ser provocada por vários objetivos. Entre eles: Entender melhor o seu funcionamento, avaliar estratégias alternativas de execução, auxiliar processos decisórios, identificar problemas antes dos mesmos acontecerem e até mesmo para exercícios de aprendizado.

Como já citamos anteriormente, estudos envolvendo o conceito *workflow mining* tem se apresentado como um dos tópicos de grande investimento por parte de grande grupos de pesquisa no assunto em *workflow* (van der Aalst et al., 2003c; van der Aalst et al., 2004). Essa linha de estudo se baseia na aplicação de técnicas de análise sob arquivos de *log* gerados por sistemas de gerenciamento de *workflow*.

Ao observar a figura 5.25, vemos como essa técnica pode identificar o que van der Aalst et al. (2003c) denomina Análise Delta. Ou seja, a diferença entre o que é especificado e o que realmente acontece na execução de um sistema de *workflow*. A possibilidade de descobrir essas diferenças e tornar o sistema mais próximo das necessidades reais do usuário é feita justamente através da análise desses arquivos de *log* por meio de processos de mineração e simulação de *workflow*.

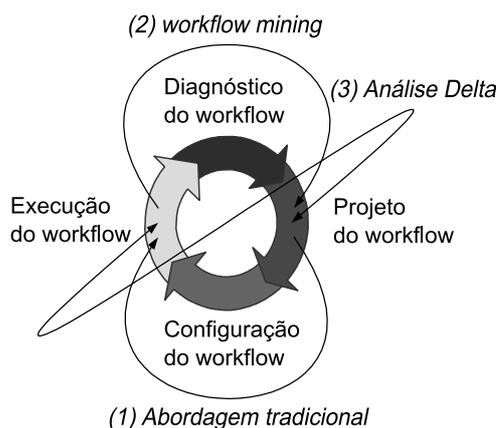


Figura 5.25: O Ciclo de vida de um *Workflow* e a sua relação com *Workflow Mining*.

Assim, apesar de nosso estudo de caso não aplicar com profundidade as técnicas de *workflow mining*, o sistema de *workflow* gerado nesse trabalho já será implementado com uma base de dados que registra todos os eventos e estados assumidos pelo sistema ao longo do tempo, além de possuir um módulo para extração de arquivos de *log* no formato adequado (Billington et al., 2003) para mineração dos processos de *workflow* em trabalhos futuros.

5.5 Conclusões

Ao aprofundarmos nossos estudos na área de redes de Petri, verificando o mapeamento desses conceitos em relação à modelagem de *workflows*, consolidamos o restante da fundamentação necessária para nosso estudo de caso. A elaboração de uma metodologia para gestão de processos de negócio terá contribuição de todos os assuntos vistos até o momento, com um destaque especial para a adoção de sistemas de *workflow* baseados em redes de Petri e suas respectivas técnicas de análise.

A necessidade de modelagem de *workflow-nets*, nos levou à definição da propriedade *Soundness* e à identificação de outras sub-classes de rede como as redes *Free-choice* e as redes bem-estruturadas. Nem sempre será possível garantir que modelagens de *workflow* venham a possuir todas as propriedades desejáveis para seu funcionamento, mas ao analisar as condições mínimas apontadas pelas especialistas da área, assumimos o compromisso de buscar esquemas de *workflow* que facilitem a aplicação das técnicas de análise estudadas no decorrer desse capítulo.

A partir do próximo capítulo aplicaremos todos os conceitos estudados até o momento na criação de uma metodologia para gestão de processos de negócio que será aplicada na área de saúde pública.

Capítulo 6

Workflow-Nets na Saúde Pública

Nesse capítulo propomos uma metodologia para a gestão avançada dos processos de negócio em organizações cujos trabalhos podem ser facilitados pelo uso de *workflows*. Nosso universo de aplicação é a área de saúde pública. Mais especificamente a gestão da saúde ambiental e seu relacionamento com um dos mais alarmantes indicadores de saúde em nosso país: A mortalidade infantil. Em um primeiro momento, será traçada uma metodologia genérica com várias etapas, regras e possibilidades de evolução que variam de acordo com cada tipo de problema encontrado. Logo em seguida, iniciaremos a aplicação desse método, instanciando o que foi proposto para um caso real relacionado à gestão da qualidade da água para consumo humano e o relacionamento de seus processos de negócio com a saúde coletiva de uma população.

6.1 Introdução

A área de saúde terá um novo destaque nesse capítulo, dessa vez mais voltada ao universo dos sistemas de *workflow* e principalmente quando aplicados em projetos de reengenharia.

A aplicação organizada de linguagens para modelagem, definição de arquiteturas, adoção e configuração de ferramentas, seleção e execução de técnicas de análise junto com seus resultados darão a tônica da metodologia proposta, que tem como principal objetivo a obtenção de uma modelagem formal de *workflow* baseada em redes de Petri. Destacamos ainda que a metodologia aqui desenvolvida, poderá ser aplicada em outros domínios e ser incrementada por novos conceitos, de acordo com a evolução dos sistemas de *workflow* e as tecnologias de informação que os cercam.

A aplicação da tecnologia de *workflows* no contexto da saúde pública, pode trazer benefícios bem reduzidos quando comparados às previsões mais otimistas e muitas podem até mesmo ser as razões para resultados tão aquém das expectativas.

A gestão da saúde, exige que uma modelagem de *workflow*, tenha um grau de

precisão mais rigoroso, uma vez que seus processos de negócio podem ser responsáveis por vidas e pela vigilância do bem estar de uma população.

6.1.1 Gerenciamento de *Workflows* na Área de Saúde

A aplicação de *workflows* na área de saúde não é uma novidade. Muitos exemplos são encontrados, principalmente, na gestão de UTIs (Bricon-Souf et al., 1999; Malhotra et al., 2007). As unidades de tratamento intensivo exigem uma modelagem dinâmica que ofereça um nível de serviço de alta qualidade e segurança, baseados em princípios como: comunicação extensiva e coordenada entre as partes envolvidas, interoperabilidade entre vários sistemas de informação e manipulação de dispositivos para monitoração de várias atividades de urgência.

Entretanto, além desse tipo de aplicação, vários outros setores de uma unidade de saúde fazem uso de regras de negócio e componentes, que caracterizam a adoção de um *workflow*. O atendimento de um paciente em um hospital, por exemplo, pode passar por diversas etapas, desde sua chegada para consulta em um ambulatório, passando eventualmente por internações em alas específicas, prescrição de medicamentos, exames clínicos feitos em laboratório, além de várias outras possibilidades.

No caso da gestão da saúde pública, o gerenciamento de um hospital (que já se mostrou relativamente complexo) se torna apenas uma parte de um grande conjunto de áreas, regras e tarefas com inúmeras ramificações e vários *workflows* independentes. Podemos dividir os processos dessa área em dois tipos, ambos críticos. O primeiro contendo processos com o objetivo de focar a saúde de forma pontual, por meio do tratamento individual de cada paciente, enquanto que o segundo se dedica ao tratamento da saúde coletiva, que estuda a área de forma investigativa na prevenção de surtos, epidemias e outros males que possam vir a acometer uma população. Esse segundo tipo retrata a área de vigilância em saúde, onde aplicaremos nossos estudos.

6.2 A Metodologia Adotada

No intuito de ratificar a importância e potencial das *Workflow-nets*, propomos uma metodologia para organizar todo o processo. Para isso, além de uma sequência de etapas, com rotas paralelas, alternativas e iterações, são definidas fases cuja finalização deverá ser sinalizada através de artefatos que expliquem cada decisão tomada e ainda relatem os resultados alcançados. Destacaremos a seguir cada uma dessas fases, com seus métodos e artefatos, para que logo em seguida, apresentemos suas propriedades com mais detalhes.

- Fase 1: Tipos de Abordagem e Objetivos do Projeto

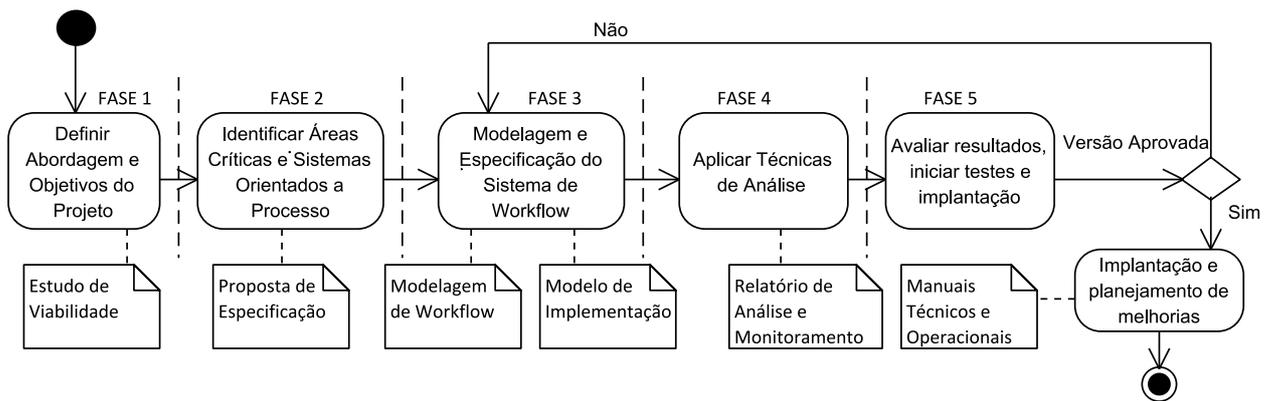


Figura 6.1: Abstração da Metodologia Adotada em UML

- Métodos: Definição do tipo de abordagem, estabelecimento de objetivos, avaliação do cenário atual e estudo de viabilidade do projeto.
 - Artefatos gerados: Estudo de Viabilidade
- **Fase 2: Áreas Críticas e Identificação de *Workflows***
 - Métodos: Entrevistas, reuniões e análise de indicadores para definição das áreas críticas; Identificação do potencial para modelagem de *workflows* no cenário encontrado;
 - Artefatos gerados: Proposta de Especificação
- **Fase 3: Perspectivas de Especificação e Modelagem**
 - Métodos: Configuração de ferramentas e modelagem de workflow; Avaliação da importância de cada uma das perspectivas de especificação; Estabelecimento da arquitetura e definição de ferramentas; Definição do tipo de sistema adotado; Exportação e Importação de modelos em formatos interoperáveis (baseados em XML) para aplicação de técnicas de análise.
 - Artefatos gerados: Modelo de Implementação e Modelagem de *Workflow*
- **Fase 4: Seleção e Aplicação das Técnicas de Análise**
 - Métodos: Identificação de tarefas chave onde possam ser aplicadas técnicas de composição e decomposição; Estudo para aplicação das técnicas de análise disponível; Configuração e uso das ferramentas para diagnóstico;
 - Artefatos gerados: Relatório de Análise e Monitoramento.
- **Fase 5: Avaliação de Resultados e Melhoria Contínua**
 - Métodos: Análise de expansão do *workflow* de acordo com o potencial da área aplicada e das perspectivas de especificação menos exploradas.

- Artefatos gerados: Manuais Técnicos e Operacionais

A seguir, será dada uma explicação mais detalhada de cada uma das fases, expandindo cada uma das atividades da figura 6.1. É importante ainda ressaltar, que devido à vasta gama de métodos, técnicas e ferramentas que podem ser escolhidas em projetos dessa natureza, muitas não foram descritas de maneira mais detalhada no decorrer do trabalho. Entretanto, na seção de conclusões e trabalhos futuros deixamos ainda mais claro o potencial de aplicabilidade dessa metodologia.

6.2.1 Fase 1: Tipos de Abordagem e Objetivos do Projeto

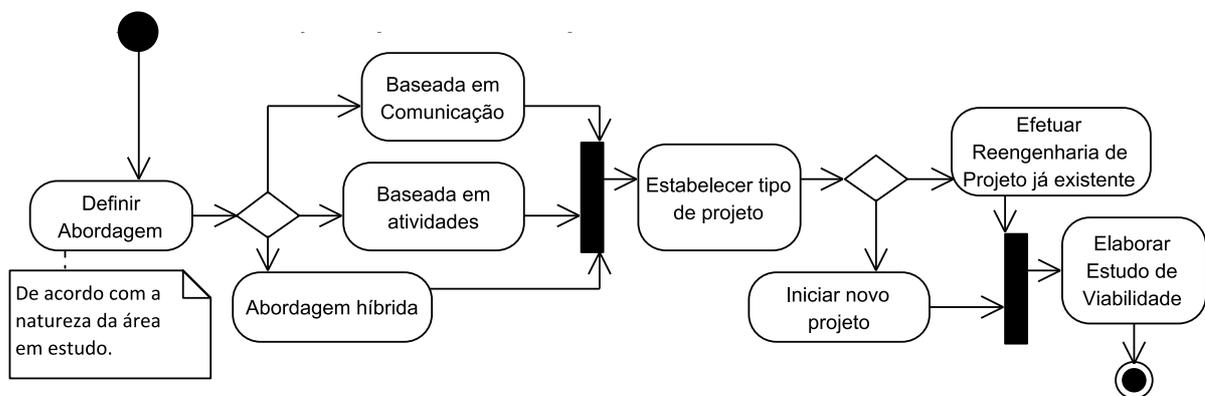


Figura 6.2: Etapas da Fase 1 modeladas em UML

A primeira fase de nossa metodologia é caracterizada pela escolha do tipo de abordagem para modelagem dos processos de negócio no cenário encontrado. De acordo com Georgakopoulos et al. (1995) existem dois métodos mais comuns para esse tipo de atividade: Um baseado na comunicação entre as partes e o outro baseado nas atividades envolvidas, como podemos detalhar a seguir.

- Modelagem baseada em Comunicação: Assume que a reengenharia de um processo de negócio tem como principal objetivo uma maior satisfação do usuário, reduzindo cada ação de um *workflow* em fases baseadas na comunicação entre o cliente e aquele responsável por sua modelagem. As quatro fases utilizadas por essa metodologia são: preparação, negociação, performance de execução e aceitação. Uma grande limitação da metodologia baseada em comunicação é que a mesma não gera implementações de novos sistemas de *workflow* a partir das especificações realizadas quando utilizada de forma isolada.
- Modelagem baseada em Atividades: Foco na modelagem do fluxo do trabalho, independente da satisfação completa do cliente. A grande maioria dos sistemas comerciais de gestão de *workflow* utilizam esta metodologia que se baseia em

conceitos como: *workflows*, tarefas, objetos manipulados (documentos, imagens, telefones), papéis e agentes.

- Modelagem Híbrida: Apesar das duas metodologias refletirem, inicialmente, posições bem distintas, nada impede que sejam tomadas posições que unam ambas abordagens durante à fase de modelagem de *workflows* em um domínio específico.

Logo após a escolha da abordagem mais adequada, dependendo do cenário encontrado, um projeto para modelagem de *workflows* pode ter objetivos diversos. Numa primeira hipótese, a construção de um processo pode estar sendo feita a partir do zero, baseando-se apenas em boas práticas já consagradas na área, entrevistas, documentação e no conhecimento tácito de especialistas no assunto. Uma segunda situação encontra um processo já existente, que necessita de uma reengenharia por não estar obtendo resultados satisfatórios. Esse tipo de definição vai influenciar diretamente todas as fases posteriores do processo.

6.2.2 Fase 2: Áreas Críticas e Identificação de *Workflows*

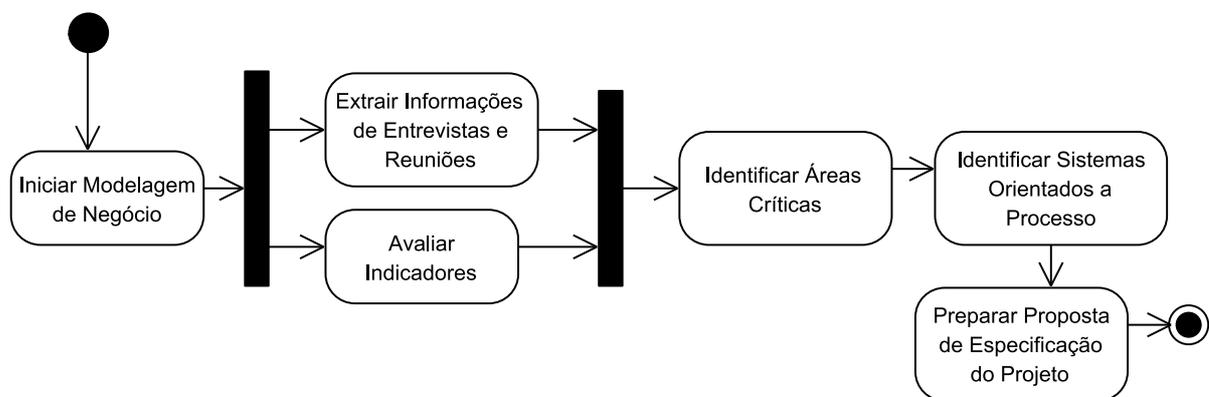


Figura 6.3: Etapas da Fase 2 modeladas em UML

Para termos noção das prioridades sobre o que deve ser modelado, é importante descobrir dentro da área em questão, quais partes se configuram como mais críticas e carentes de uma melhor gestão de seus processos de negócio. Esse tipo de descoberta pode se basear na leitura de indicadores, que comprovem por meio de relatórios, estatísticas ou outros tipos de evidência, as direções necessárias para restrição do escopo mais adequado para o projeto.

Eventualmente, podem ser encontrados cenários onde não exista qualquer tipo de referência ou fonte de dados para evidenciar essas áreas críticas. Nesses casos, técnicas envolvendo entrevistas e reuniões com gerentes de negócio e outros especialistas no domínio vão complementar essa etapa do processo. Vale ainda ressaltar, que o estudo

desses indicadores deverá ser muito criterioso pois o projeto vai usar essas informações como principal parâmetro de escolha dos caminhos que deverão ser seguidos.

Quando já se sabe o tipo de problema a ser tratado e os principais elementos (setores, atividades, recursos) desse escopo já começam a ser identificados, dá-se início à transição para a fase mais importante do processo: A modelagem de negócio e especificação de *workflows*. Para isso são pesquisados e identificados comportamentos que comprovem a existência de sistemas orientados a processo na área crítica apontada. Como resultado é gerado mais um novo artefato: A Proposta de Especificação.

6.2.3 Fase 3: Modelagem e Perspectivas de Especificação

Esta é a fase mais técnica e central da metodologia, retrata na figura 6.4, onde se realiza a configuração de ferramentas para modelagem, a avaliação das perspectivas de especificação, a definição de arquitetura e do tipo de *workflow*, além da forma de especificação e implementação do sistema.

Em se tratando da especificação de *workflows*, alguns pré-requisitos fazem diferença no momento de iniciar o projeto. Mendling et al. (2010) relaciona um conjunto de recomendações baseadas em pesquisas e resultados empíricos que dão um direcionamento inicial ao assunto. São elas:

1. Usar o mínimo possível de elementos no modelo
2. Diminuir os caminhos traçados por cada elemento
3. Usar apenas um evento de início e um evento final
4. Fazer uma modelagem o mais estruturada possível
5. Evitar o uso de blocos OR. Modelos com blocos AND ou XOR (OU exclusivo) tendem a possuir menos erros
6. Usar rótulos com verbos e objetos para as atividades do modelo
7. Decompor o modelo se o mesmo possuir mais de 50 elementos

Uma vez determinado nosso escopo de trabalho, o grau de entendimento do problema já permite definir o nível de dedicação aplicado a cada uma das perspectivas de especificação de *workflow*, vistas no capítulo 4. Uma avaliação da influência de cada uma delas no projeto vai definir as ramificações que podem ser tomadas. Para cada uma das perspectivas estudadas, seguem alguns procedimentos:

- Perspectivas Comportamental e Funcional: Modelar elementos dentro da área crítica recém-descoberta, que caracterizem a aplicação de um sistema de *workflow*.

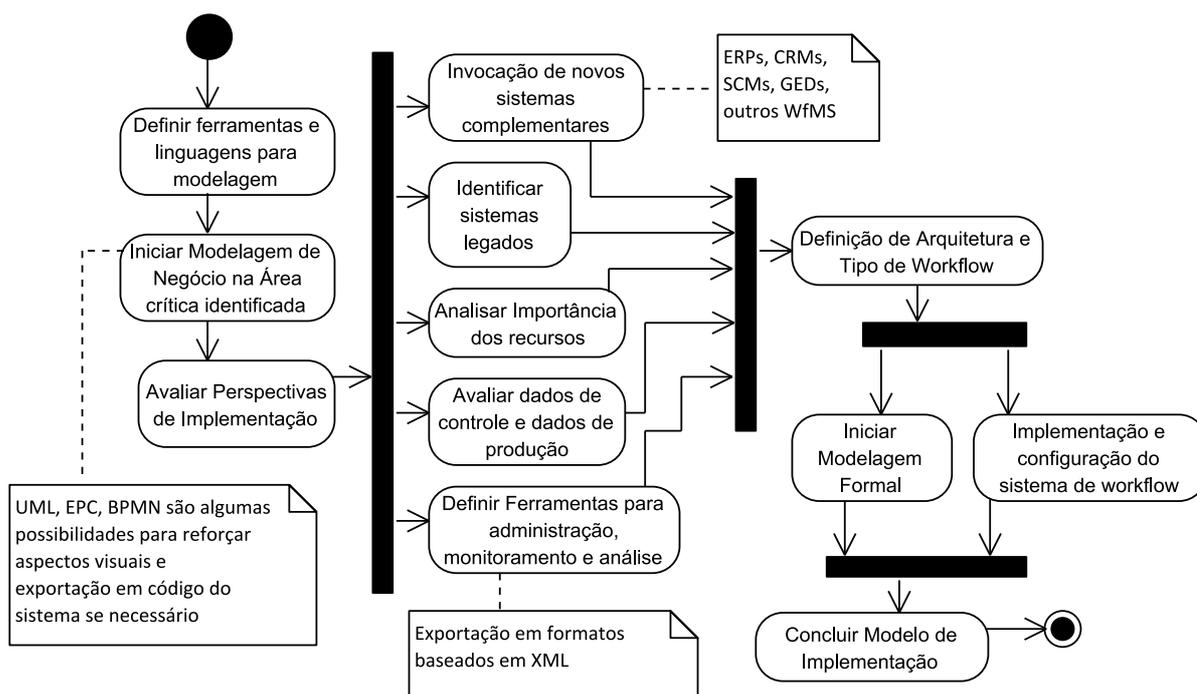


Figura 6.4: Etapas da Fase 3 modeladas em UML

Ou seja, deve ser levantada a existência de fluxos de trabalho, tarefas e outras evidências que favoreçam a implantação de sistemas de informação orientados a processos (PAIS).

- **Perspectiva Orientada a Dados:** Verificar os tipos de dados que serão manipulados pelo sistema e sua importância para o *workflow*. Um sistema de *workflow* pode utilizar dados de produção (documentos ou outros tipos de arquivo que serão manipulados) ou dados de controle (dados de configuração para construção das rotas do processo).
- **Perspectiva Orientada a Recursos:** Caso o *workflow* necessite de uma maior participação e interação entre os recursos envolvidos, será estudada a viabilidade do uso de ferramentas de *groupware* e outros sistemas colaborativos, além da possibilidade de invocação de agentes de software para colaboração com o motor do *workflow*. Além disso, também será estudada a utilização de dispositivos e equipamentos adicionais para utilização no sistema e a possibilidade de configurações que contemplem *workflows* inter-organizacionais.
- **Perspectiva Operacional:** Deve ser, preferencialmente, avaliada após a análise de todas as outras. Um estudo anterior das demais perspectivas vai contribuir nas escolhas sobre as ferramentas e aplicativos que deverão ser utilizados no projeto. Como um dos principais critérios de escolha, além das funcionalidades oferecidas por cada ferramenta, a exportação para formatos interoperáveis que usem lingua-

gens baseadas em XML também contarão a favor nessas escolhas. Mais detalhes sobre essas ferramentas serão feitas na fase seguinte.

É importante ainda ressaltar que as perspectivas de especificação do *workflow* continuam influenciando as fases posteriores e, devido à natureza iterativa da metodologia, o grau de dedicação a cada uma delas também pode ser alterado no decorrer da evolução das outras fases, quando ficam evidenciadas mudanças em prioridades definidas anteriormente.

Continuando essa fase, é importante destacar como será feita a modelagem de negócio. Linguagens com menor embasamento formal mas com uma maior facilidade de expressão gráfica perante o usuário, devem ser inicialmente utilizadas para que, logo em seguida, seja feita a especificação de *workflow* correspondente¹.

Justificando essa estratégia, citamos o trabalho de Dehnert & van Der Aalst (2004), onde é mencionado que descrições de processos de negócio são usados para fins diferentes e pelos mais diferentes perfis de profissionais. Enquanto que a modelagem de processos é feita por especialistas no domínio e deve ser inteligível para pessoas de diversos tipos de formação e cultura (gerentes, operadores, usuários, profissionais de TI) e com diferentes interpretações, uma especificação de *workflow* deve ser feita por profissionais de TI e utilizada, de preferência, como entrada para um sistema de gerenciamento de *workflow*. A tabela 6.1 mostra algumas dessas linguagens para modelagem de negócio, os tipos de cenário onde mais se adequam e seu relacionamento com redes de Petri, nossa linguagem escolhida para especificação de *workflows*.

Linguagem	Características favoráveis
UML	Modelagem de sistemas orientados a objeto. A exportação de diagrama de atividades para redes de Petri pode ser feita de forma manual para casos menos complexos ou através de conversões que fazem o mapeamento entre as duas linguagens.
BPMN	Linguagem mais completa que o diagrama de atividades de UML. Possui mais recursos visuais para representar as regras de negócio e ainda pode exportar seus modelos para linguagens como BPEL ou redes de Petri. Muito aconselhada projetos de <i>workflow</i> inter-organizacionais por conta da exportação de modelos em BPMN para BPEL. Uma linguagem que dá suporte à implementação de <i>Web Services</i> .
EPC	Muito útil quando ferramentas de modelagem (ARIS, 2009), ou sistemas ERP (SAP, 2009) baseados na linguagem fazem parte da arquitetura do sistema de <i>workflow</i> . Modelos de negócio desenvolvidos em EPC também podem ser convertidos para redes de Petri através de metodologias criadas por pesquisadores no assunto (Dehnert & van Der Aalst, 2004).

Tabela 6.1: Opções de linguagem para modelagem de negócio

Complementando as informações da modelagem e da influência de cada perspectiva de especificação, o modelo da WfMC (visto na figura 4.10) será usado referência para

¹Vários são os estudos (Dehnert & van Der Aalst, 2004) para diminuir o hiato entre as duas formas de apresentação. Quando mais complexo for o sistema de workflow, maior o risco de divergência entre esses modelos, mas essa abordagem ainda se mostrou como a mais adequada.

construção da arquitetura do sistema, definindo cada uma das interfaces de comunicação entre *workflows* para projeto.

Por fim, todas essas questões junto com a análise da complexidade e estruturação das tarefas encontradas nos modelos irão definir os rumos de implementação do sistema e a escolha do tipo de *workflow* adotado, escolhendo entre os modelos *Ad-hoc*, Administrativo e de Produção, estudados no capítulo 4.

6.2.4 Fase 4: Seleção e Aplicação das Técnicas de Análise

As perspectivas de especificação também devem influenciar nas técnicas de análise aplicadas. A partir de toda a informação e conjunto de ferramentas já definidos, poderão ser aplicadas soluções de teor qualitativo e quantitativo, como vemos na figura 6.5 e mais detalhadamente a seguir.

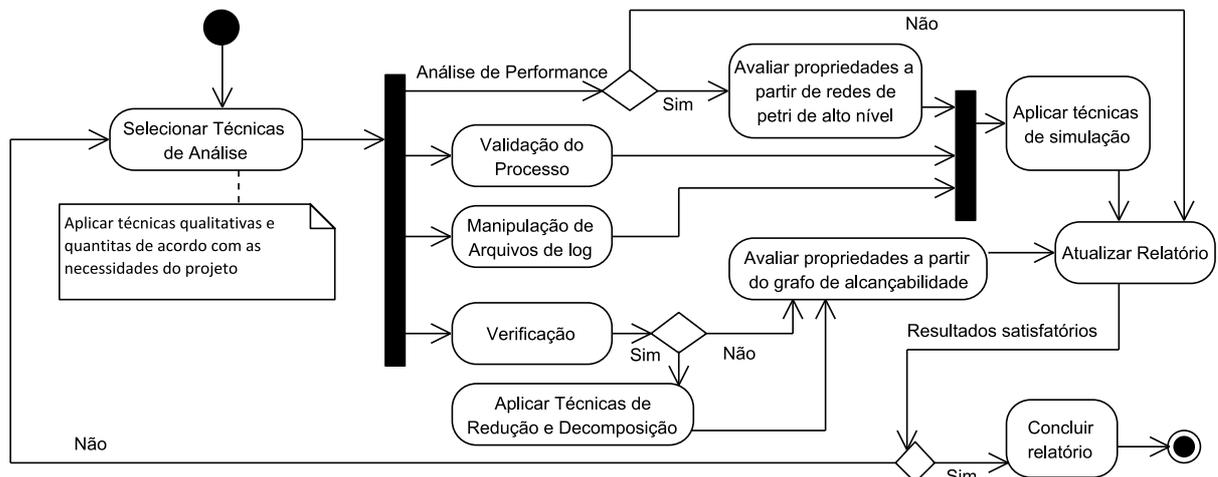


Figura 6.5: Etapas da Fase 4 modeladas em um diagrama de atividades

- Em primeira instância essa etapa inicia-se pela **validação** da modelagem, que pode ser feita através de ferramentas que fazem a simulação de disparos das transições e exibição dos estados assumidos pela rede durante esses disparos. Os arquivos usados para esse procedimento podem ser oriundos do *log* gerado pelo sistema ou das próprias ferramentas usadas para construção dos modelos.
- Técnicas também podem ser aplicadas, através da *verificação* de propriedades comportamentais e estruturais da rede, no intuito de se comprovar características que viabilizem a utilização da modelagem desenvolvida. Através da verificação poderão ser comprovados *deadlocks*, *livelocks* e outras propriedades importantes para esse trabalho como *soundness*, vivacidade, limitação, entre outras. Alternativas como os grafos de alcançabilidade poderão ser usadas nas *workflow-nets* para efeito de verificação e as técnicas de redução, composição e decomposição (de

acordo com o tamanho da rede) de tarefas também são uma opção para facilitar esse tipo de análise.

- Em casos mais avançados, técnicas de simulação baseadas na mineração de *workflow*, a partir da análise de arquivos de *log* (XML gerados diretamente ou a partir de bases relacionais), podem trazer respostas ainda mais criteriosas para o projeto. Tomamos como alguns exemplos: Taxa de disponibilidade e capacidade dos recursos (Aalst2008a) ao longo do tempo, taxas de transferência, índices de produtividade e muitos outros. A simulação é uma técnica que pode se tornar muito dispendiosa e desgastante para uma organização mas tem resultados diferenciados, quando aplicada de forma adequada.

6.2.5 Fase 5: Avaliação de Resultados e Melhoria Contínua

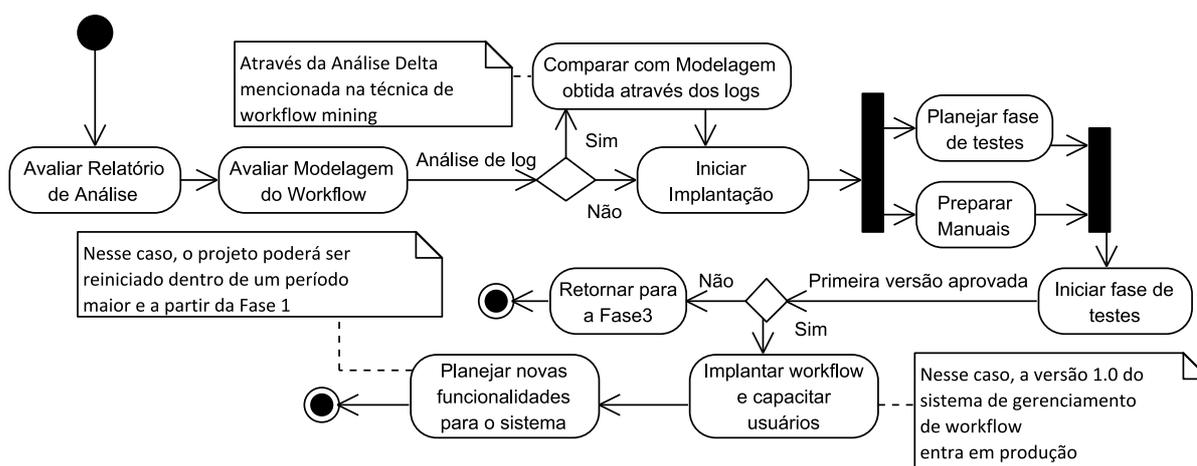


Figura 6.6: Etapas da Fase 4 modeladas em um diagrama de atividades

Quando é iniciada a fase final, ao avaliarmos os relatórios de análise e a modelagem do *workflow*, no caso da manipulação de arquivos de *log*, se o sistema já possuir uma quantidade de dados considerável e gerou esses arquivos em formatos adequados para ferramentas de análise, devem ser feitas comparações entre a modelagem obtida (através das reuniões e entrevistas) com o modelo gerado a partir das técnicas de *Workflow Mining*. Em caso de muitas diferenças, se o projeto não é homologado na fase de testes, este não deverá ser implantado e a modelagem deve ser refeita a partir da terceira fase da metodologia. Ainda assim, mesmo para os casos de sistemas que não tenham trabalhado com arquivos de *log*, existe a possibilidade de retorno para a fase 3, de acordo com o *feedback* dos usuários do sistema. Mesmo com uma modelagem correta, o sistema pode ainda não estar sincronizado com a realidade prática do processo.

Já nas situações que a versão é aprovada na fase de testes, vários resultados podem ser medidos. Para projetos de reengenharia, novos modelos de trabalho devem

ter sido obtidos e o processo anterior cede lugar para uma solução muito mais correta e otimizada, fazendo melhor uso de seus recursos, dentro rotas mais completas e produzindo informações mais valiosas para o negócio. No caso de uma modelagem feita a partir do zero, o resultado esperado pode ser ainda melhor, uma vez que, em projetos de reengenharia, algumas peças defeituosas nem sempre podem ser descartadas por conta de amarrações complexas, sistemas legados e outros fatores que podem ir além das fronteiras de atuação da organização envolvida.

No entanto, independente do tipo de projeto, a implantação de uma nova cultura baseada em *workflows* possui um potencial tão vasto de recursos que deve deixar como legado uma modelagem escalável e pronta para evoluir em compasso com as mudanças da organização. Ao fim de projetos dessa natureza, deve-se ter uma documentação contendo as técnicas, linguagens, ferramentas e aplicativos que foram usados e ainda outras observações que venham a contribuir em novas versões do *workflow*.

6.3 Aplicação da Metodologia

Uma vez construída nossa metodologia para gestão de processos, chega o momento de transpormos o que foi passado de forma genérica para um problema real. Como já dito em diversos momentos, nosso cenário de estudo é a área de saúde pública.

6.3.1 Identificação do Cenário

A falta de condições de um atendimento mais personalizado do SUS, que hoje é responsável pela saúde de mais de 90% da população do Estado de Alagoas (Ripsa, 2008), inviabiliza um processo de modelagem de *workflows* colaborativo e que priorize unicamente a satisfação do cliente em detrimento ao fluxo das atividades do processo. A estrutura dos serviços oferecidos pelo SUS em Alagoas se apresenta historicamente com uma capacidade de atendimento inferior à demanda de sua população. Essa realidade compromete uma abordagem orientada à comunicação, comprovando a urgência em uma modelagem baseada nas atividades do processo, segundo modelo mencionado por Georgakopoulos et al. (1995).

Continuando a avaliação da área escolhida, os problemas iniciais apresentados para modelagem desse cenário, fornecem todas as características necessárias para a construção de um projeto de reengenharia, por conta da existência de muitos sistemas legados em esfera federal (que dificilmente serão substituídos e são no máximo adequados às realidades das outras duas esferas), várias regras de negócio já estabelecidas e falta de integração entre vários setores envolvidos no processo. Outros fatores verificados a partir de entrevistas iniciais e reuniões com especialistas na área comprovam ainda a existência de recursos mal aproveitados, redundância de dados e outras inconsistências

que comprovam essa segunda definição: Esse estudo de caso trata de um projeto de Reengenharia.

6.3.2 A Mortalidade Infantil e os Processos da Vigilância em Saúde

Conforme resultados de pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), os dados de mortalidade infantil envolvendo o estado de Alagoas exibiram a mais elevada taxa do país em 2008. Sendo esta a grande área crítica escolhida dentro do domínio desse projeto.

Mediante entrevistas semi-estruturadas, reuniões e outras fontes de pesquisa (MS, 2009), o problema da utilização de água imprópria para consumo humano por habitantes de vários municípios do estado, foi identificado como um dos grandes responsáveis pelas taxas de mortalidade infantil no estado. Esse mesmo cenário, se caracteriza como um sistema orientado a processos (com potencial necessário para modelagem formal de *workflows*), que nos levou ao estudo das regras atualmente adotadas na gestão da qualidade dessa água e seus sistemas de abastecimento, desde o seu tratamento, coleta e análise em laboratório.

6.3.3 Modelagem de Negócio e Perspectivas de Especificação na Saúde Ambiental

Ao iniciar a modelagem de negócio nesse projeto, nos propomos dentro dessa metodologia, a utilizar inicialmente, uma linguagem intermediária entre o rigor dos métodos formais e expressão dos modelos visuais para identificar as principais regras da área em estudo. Apesar de BPMN ter se mostrado, no decorrer de sua evolução, como mais completa que os diagramas de atividades de UML, os recursos oferecidos por esta última se mostraram suficientes para as aspirações de modelagem desse projeto.

Foram modeladas assim, em UML, atividades de agentes municipais, vigilância ambiental, laboratório central do estado e vários outros setores da vigilância à saúde relacionados ao nosso escopo de estudo. Através da figura 6.7 observamos a situação atual envolvendo o fluxo de trabalho e as dependências entre tarefas de cada um dos envolvidos no processo. Logo a seguir, descrevemos o papel de cada uma dessas áreas e no Apêndice A, algumas imagens de campo complementam a visão do trabalho de cada uma delas.

- **Vigilância Ambiental:** Área responsável pela gestão ambiental do estado. Em nosso caso particular² a gestão da água para consumo humano e seus sistemas de

²A área de vigilância ambiental também pode se envolver com a gestão da qualidade do solo e do ar mas isso não acontece no cenário encontrado e foge do escopo desse trabalho

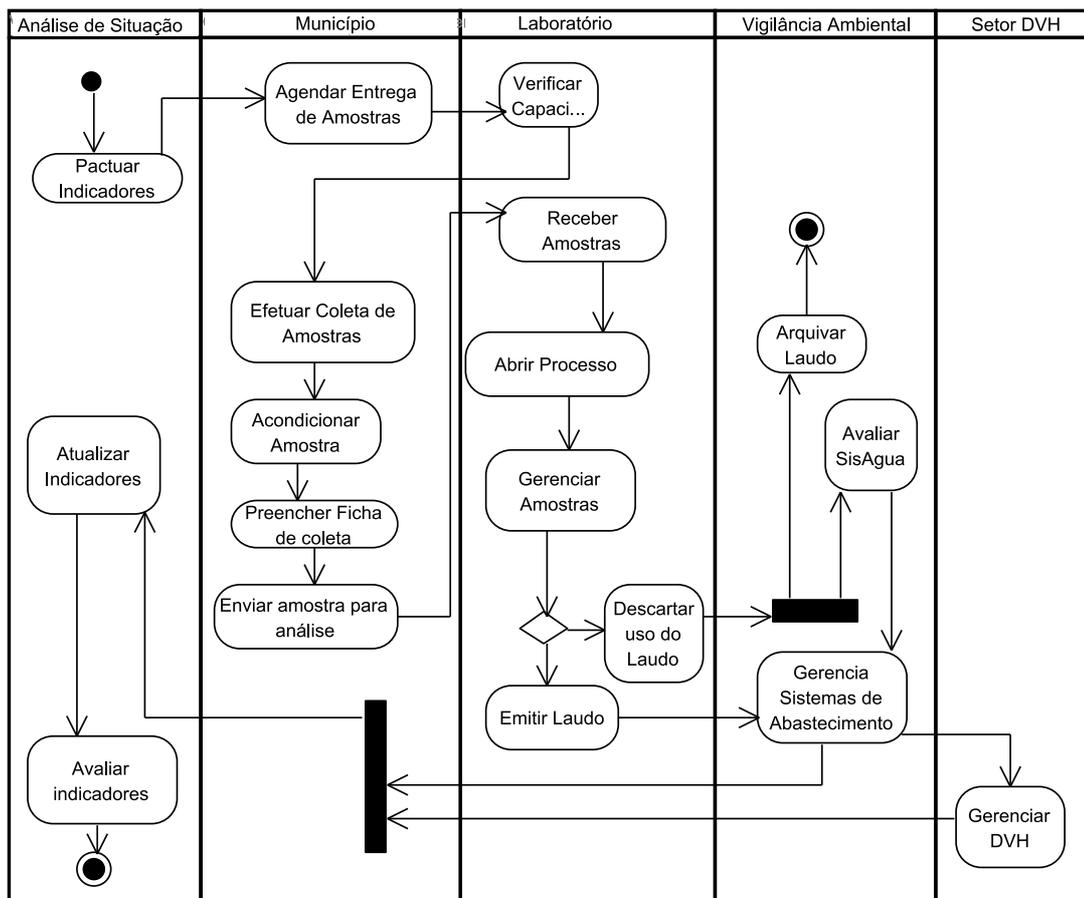


Figura 6.7: Modelagem de Negócio do cenário atual

abastecimento³.

- Municípios: Agentes municipais que interagem com todos os outros setores (vinculados ao estado ou ao Ministério da Saúde) de nossa área de estudo. O trabalho dos municípios representa a gênese da grande maioria dos processos na saúde pública, uma vez que a coleta de dados na área nasce na esfera municipal.
- Laboratório Central: Setor responsável por vários tipos de análise (microbiológicas, físico-químicas, toxicológicas, entre outras), produzindo informação para vários outros setores (operacionais e gerenciais) da vigilância em saúde.
- Setor de DVH: O Combate às doenças de veiculação hídrica é uma subárea da vigilância epidemiológica responsável pelo estudo das males como as doenças diarreicas agudas, que estão entre as grandes responsáveis pela mortalidade infantil
- Setor de Análise da Situação da Saúde: Área responsável pela gestão de indicadores de saúde, que por sua vez regem o comportamento de todas as áreas

³Sistemas de abastecimento podem se apresentar de diversas formas, como por exemplo: cacimbas, caminhões-pipa, chafariz, cisternas, poços artesianos, entre outros

mencionadas anteriormente.

Baseado na modelagem de negócio da figura 6.7 e em várias outras informações, obtidas através de entrevistas e reuniões com os principais especialistas e responsáveis por cada uma das áreas identificadas, algumas constatações foram feitas no intuito de definirmos a arquitetura e tipo de sistema de *workflow* adotado nessa primeira versão do projeto. São elas:

1. Todos os setores que deverão ser cobertos pelo sistema de *workflow* pertencem à mesma unidade organizacional, não havendo necessidade de utilização soluções interoperáveis entre plataformas descentralizadas e heterogêneas.
2. O grau de flexibilidade do projeto, aliado a um tamanho de médio porte da equipe envolvida, não permite a adoção de um *Workflow Ad-hoc*. Além disso, o grau de colaboração do sistema é muito pequeno, limitando-se a algumas mensagens de alerta para outros perfis dentro do sistema, mas sem o poder de alterar as rotas do processo.
3. Apesar da grande importância dos problemas que esse sistema vai tratar, muitas vezes relacionados com tarefas de missão crítica, a grande maioria das tarefas depende da intervenção do usuário, enquanto que uma outra parte em bem menor número será automatizada.
4. Além de um baixo grau de automação, esse projeto não deverá se integrar com outros sistemas orientados a processo como ERPs, CRMs, SCMs ou outros sistemas de *workflow*.
5. Fatores como a urgência de resultados na área, aliados à realidade financeira da gestão pública impedem uma aplicação imediata de soluções proprietárias com componentes de *workflow* embutidos ou sistemas de Workflow puros, pelo fato das melhores soluções no mercado serem de caráter comercial.

Assim, de acordo com o conjunto de fatores observados, foi decidido para esse projeto, que a modelagem de negócio da saúde ambiental será implementada por sistema de gerenciamento de *workflow* do tipo administrativo, fortemente baseado em codificação. No entanto, em paralelo a esse desenvolvimento, será feita à especificação formal do modelo para implantação em sistemas de *workflow* puros mais robustos e gerenciáveis (baseados em redes de Petri) em versões posteriores do projeto.

6.3.4 Modelagem Formal com redes de Petri

Para especificar um *workflow*, é realizado um mapeamento de seus elementos para os conceitos associados às redes de Petri. Apesar da existência de técnicas para conversão

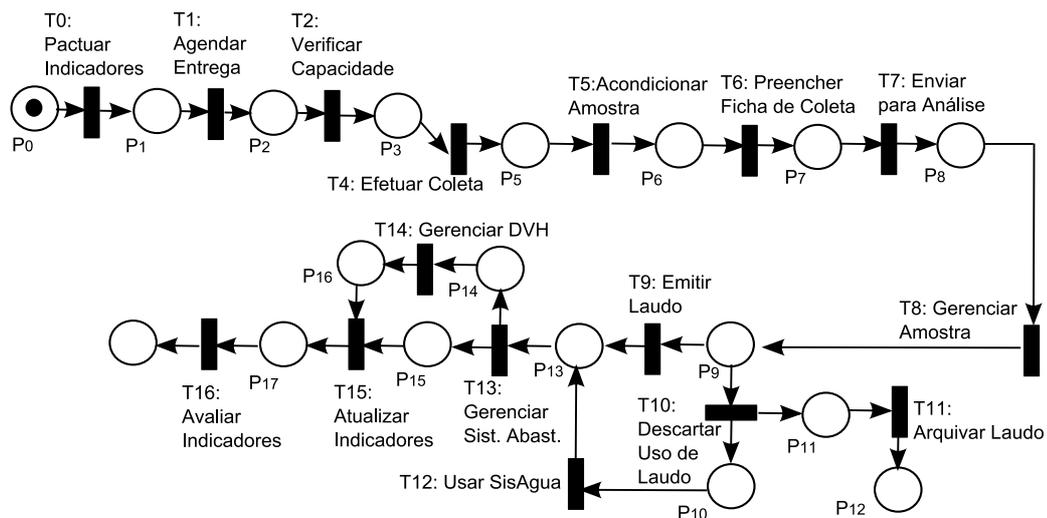


Figura 6.8: Rede de Petri para o cenário atual do problema

de linguagens semi-formais como UML, EPC e BPMN em redes de Petri (Dehnert & van Der Aalst, 2004), devido ao tamanho e baixa complexidade do modelo inicial em UML, pudemos efetuar essa transição abdicando desses recursos.

Foram usadas, inicialmente, rede de Petri ordinárias, como pode ser visto na figura 6.8, com todos os tipos de rotas básicas (sequencial, condicional, paralelo) representadas através de blocos de construção AND e OR, que permitem modelar as regras de negócio explicitadas anteriormente na seção 5.3.3. Além disso, as atividades do diagrama UML foram mapeadas nesse modelo para as transições da rede de Petri.

A partir de técnicas de redução obtemos uma versão mais compacta da rede original. As figuras 6.9 e 6.10 mostram como ocorreu o processo e o seu resultado. Foram usadas técnicas como a fusão de lugares em série (aplicadas a P_1 a P_3 e P_{17} a P_{18}) e a fusão de transições em série (aplicadas de T_4 a T_7). Para que não fossem perdidas muitas informações, essa redução foram feitas dentro de subgrupos *lugar-transição* que estivessem dentro de um mesmo contexto, como está destacada na figura 6.9

Como resultado desse processo de redução, obtemos a rede da figura 6.10, onde já se destacam alguns problemas que estão levando à perda de trabalho e obtenção de resultados possivelmente incorretos. No intuito de esclarecermos precisamente esses problemas, será gerada uma árvore de alcançabilidade da rede para fazermos em seguida uma análise semântica de suas propriedades, dentro do contexto desse trabalho.

6.3.5 Árvore de Alcançabilidade e Análise Semântica da Rede

Ao gerarmos uma árvore de alcançabilidade da rede de Petri compactada, obtemos o resultado expresso na figura 6.11. Em primeira inspeção, a rede já exibe algumas características problemáticas dentro do universo dos workflows, apontados a partir de agora com sua respectiva análise semântica a partir do universo da saúde.

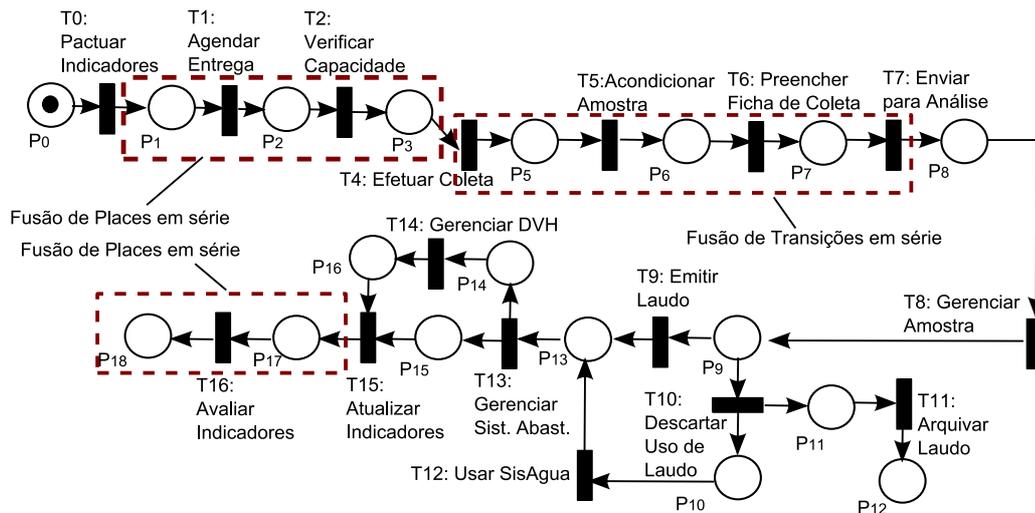


Figura 6.9: Técnica de redução aplicada à rede de Petri inicial - Etapa 1

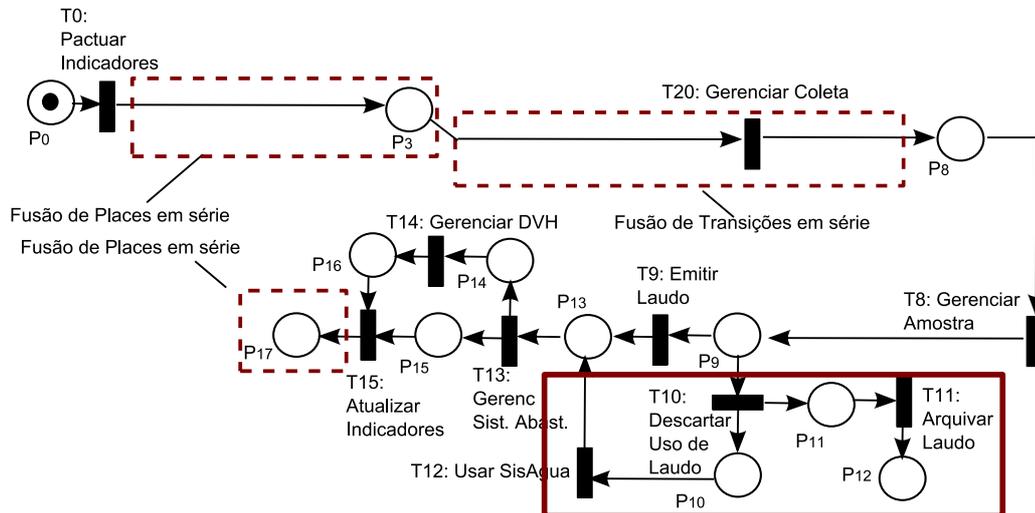


Figura 6.10: Rede após redução

1. Uma das principais propriedades de uma *wf-net* é a existência de um único lugar inicial (*source*) e um único lugar que represente o fim do processo (*sink*). A rede atual possui dois *sinks*. Além disso, a rede também não é *Sound* já que existem vários estados finais (folhas destacadas na árvore) com *tokens* em mais de um lugar da rede.

- Análise Semântica: Existem recursos que estão sendo desperdiçados pelo processo atual.

2. Ao fim do disparo de T8, dentro das duas opções disponíveis (T9 e T10) a transição T9, *Emitir Laudo*, é a única que leva a um estado ideal para o *workflow*, com um único *token* na rede. Já o disparo da transição T10, *Descartar Laudo*, leva a vários estados e todos são indesejáveis para o *workflow*.

ciar Amostra, que obriga a rota do *workflow* a escolher entre o disparo de uma transição ideal (T9) e o de outra indesejável (T10)

- Análise Semântica: A tarefa Gerenciar Amostra deve ser investigada com detalhes pois, como podemos observar pela árvore, é logo após seu disparo que o sistema se ramifica para caminhos inconsistentes. Além disso essa tarefa contempla todo o fluxo de trabalho (e ciclo de vida da amostra) dentro do laboratório central e não pode ser abstraída em uma única transição
4. Na grande maioria das vezes, quando a transição T15, *Atualizar Indicadores* é disparada, a marcação acaba em um estado indesejável, com dois *tokens* na rede.
- Análise Semântica: Os indicadores pactuados pelo setor de Análise de situação da saúde são sincronizados com informações nem sempre confiáveis por conta do processo defeituoso de trabalho.

A partir de todas as observações apontadas, fica evidenciada a necessidade de grandes mudanças na modelagem inicial feita com redes de Petri ordinárias. Na próxima etapa mostraremos como iniciamos o uso de redes de Petri em um formato mais adequado para especificação de *workflows*, alterando a notação usada na figura 6.10 e explicando quais modificações serão feitas.

6.3.6 Wf-Nets e Decomposição de Tarefas Laboratoriais

Usaremos a partir dessa etapa, as chamadas *workflow-nets*. Assim, iniciamos a partir de agora um processo para mapeamento da rede de Petri ordinária, exibida na figura 6.10 nesse novo formato, que provocará algumas alterações no modelo original.

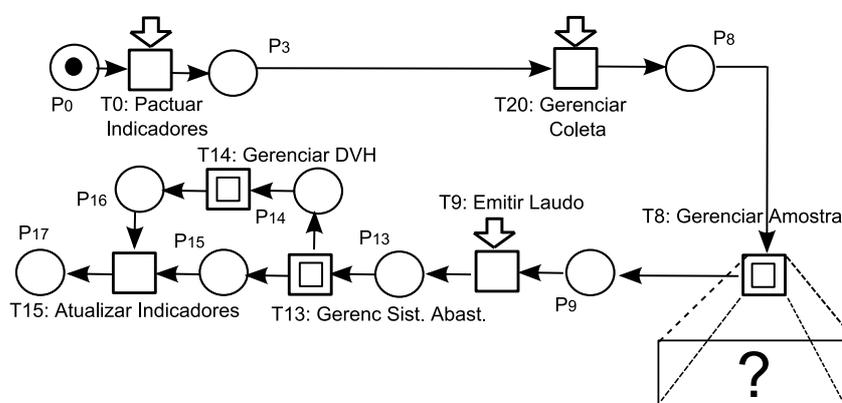


Figura 6.12: Rede modificada já no formato de uma Wf-Net

A nova especificação em *wf-nets*, destacada na figura 6.12, oferece algumas novidades, quando comparada ao modelo anterior. Uma das mais importantes, como podemos

observar, ao aplicar técnicas de análise, que a mesma apresenta as propriedades mais desejáveis em uma *workflow-net*. Com o apoio de ferramentas para análise e diagnóstico de redes de Petri, a rede da figura 6.12 é verificada como *Sound* e ainda *Free-choice*, o que garante a corretude de sua aplicação no desempenho de tarefas de um *workflow*.

Além desse fator, destacamos também como uma grande contribuição das wf-nets, o fato das transições poderem ser diferenciadas de acordo com o tipo de gatilho que as dispara. Enquanto as transições T0, T20 e T9 dependem de intervenções externas de um usuário, a tarefa *Atualizar Indicadores* se apresenta como uma tarefa automatizada nessa nova especificação, que propõe uma maior integração entre os sistemas de informação das áreas envolvidas no processo.

Por fim, mas não menos importante, podemos observar que transições como T8, T13 e T14 estão representadas pelo símbolo do conceito hierárquico mais comumente usada por sistemas de workflow: O refinamento de tarefas. Assim, para especificar mais precisamente o sistema, será necessário expandir cada uma dessas tarefas em outros *subflows* que também possuam as propriedades de uma *workflow-net*.

Como ficou evidenciado na seção anterior o grande gargalo provocado pela tarefa *Gerenciar Amostra* nas tarefas subsequentes da rede, provocou o retorno para a fase 3 do processo, onde será feita uma outra modelagem de negócio, dessa vez apenas focada nas atividades do laboratório central e seu gerenciamento de amostras de água. Vale ainda destacar que as transições T10, T11 e T12 junto com alguns de seus *places* de saída e de entrada exibidos na versão anterior foram removidos nessa wf-net, uma vez que, com as mudanças implementadas e a implementação de *workflow* nas tarefas do laboratório, está sendo almejado que todos os laudos das amostras de água passem a ser emitidos em tempo hábil para os outros setores, sem a necessidade de seu descarte, arquivamento e utilização de dados incorretos de outros sistemas.

Para reiniciar todo o processo, com um nova modelagem dentro apenas do universo laboratorial, iremos nos basear em entrevistas com recepcionistas, analistas de laboratório, gerentes de qualidade e outros profissionais envolvidos no processo para gerar outra modelagem de negócio em UML, de forma similar ao da figura 6.7. Uma vez obtida a modelagem intermediária usando o diagrama de atividades, passamos mais uma vez por um novo processo de mapeamento de linguagens semi-formais para redes de Petri (que não será exibido pela similaridade com o processo anterior) que dá origem à *workflow-net* da figura 6.13.

6.3.7 Sistema de *Workflow* e Melhorias no Lacen-AL

Em paralelo à modelagem de negócio das atividades do laboratório central de saúde pública de Alagoas (Lacen-AL), iniciamos o desenvolvimento do sistema de workflow para organizar todo o fluxo de trabalho na gestão de amostras e proporcionar um fluxo

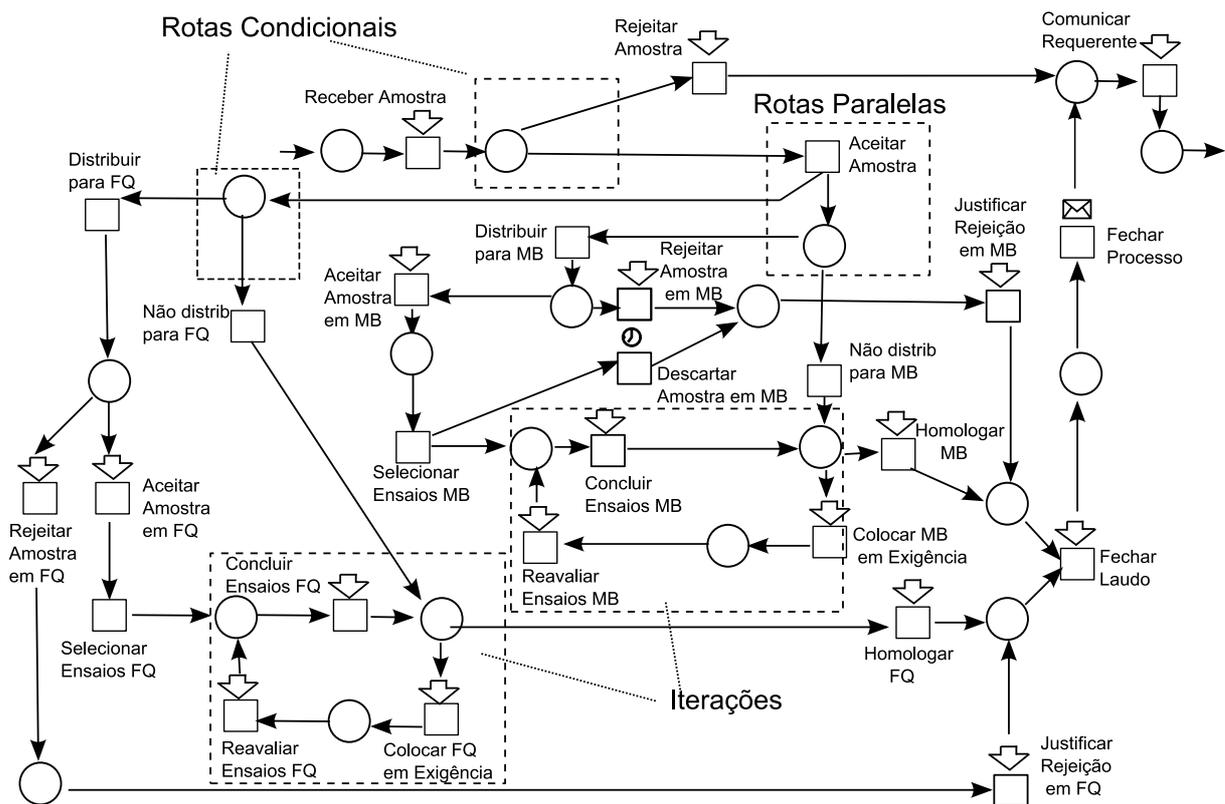


Figura 6.13: Subflow correspondente a tarefa Gerenciar Amostra

de trabalho livre dos erros apontados anteriormente na figura 6.10.

Como decidido na primeira passagem pela fase 3 de nossa metodologia, ratificamos a decisão de um sistema de *workflow* fortemente baseado em codificação e do tipo Administrativo, para que futuramente usemos a especificação formal obtida em sistemas de *workflow* mais escaláveis e completos. Além de uma arquitetura orientada a objetos com uso de uma base de dados relacional, o sistema substitui uma realidade anterior baseada no uso extensivo de papel, retrabalho e riscos constantes de erros pela falta de estabelecimento de um fluxo de trabalho mais correto e organizado.

Esse sistema possui como uma de suas principais características o uso de formulários com campos fechados (já pré-cadastrados para escolha ao invés de digitação no intuito de minimizar erros de preenchimento) e uma natureza orientada a processos típica de sistemas de *workflow*. Além disso, foram claramente identificados cada um dos recursos participantes do processo e suas atribuições dentro do ciclo de vida da amostra. Descrevemos essa informação a seguir:

- Recepcionista: Responsáveis pelo recebimento das amostras de água provenientes dos municípios, abertura de processo, encaminhamento para análise e emissão de laudos finais.
- Analista de Microbiologia: Responsáveis por análise de laboratório como *Escheri-*

chia Coli, *Presença de Coliformes Totais* e outros tipos de ensaios necessários de acordo com a proveniência da água, ponto de coleta e outras informações apontadas na ficha de coleta entregue pelo município.

- Analista de Físico-Química: Responsáveis por outros tipos de ensaio como *pH*, *Presença de Cloro*, *Turbidez da água*, entre outros.
- Gerente de Qualidade: Homologa os resultados de laboratório de cada unidade analítica e libera laudos para impressão. No caso de detectar erros ou problemas, encaminha nova avaliação das conclusões para o analista responsável.

Além das características já apresentadas, a rede apresentada pela figura 6.13 mostra a quantidade de regras e utilização dos principais tipos de rota de *workflow*. Destacamos blocos sequenciais, condicionais, paralelos e ainda casos envolvendo iterações no processo.

Finalmente, além de prover de maneira informatizada o cadastro, distribuição, seleção e conclusão de ensaios e emissão de laudos, o sistema implantado no Lacen-AL teve ainda como característica a geração de *logs* em sua base relacional, para registrar todos eventos e estados assumidos pelo sistema, com informações como: tipo do evento, data, hora, evento anterior e usuário responsável. Esses registros (com uma quantidade de dados considerável de mais de dez mil amostras) já estão sendo analisados por um outro aplicativo desenvolvido para gerar arquivos em XML a partir dessa tabela de histórico *logs* em formatos que possam ser analisados por ferramentas de mineração e simulação de processos. Um de nossos trabalhos futuros, já em andamento.

6.3.8 Expansão para Áreas Adjacentes e Outras Linguagens

Dando continuidade à metodologia, uma expansão em potencial é observada para a segunda versão de nossa especificação de *workflow*. Em prosseguimento aos trabalhos dentro desse mesmo escopo, três outras áreas envolvidas na qualidade da água consumida no estado, precisando de uma reengenharia de seus trabalhos para especificações de *workflow* mais concisas e criteriosas.

Como pode ser observado na figura 6.14, a gestão dos sistemas de abastecimento por parte da Vigilância Ambiental, o monitoramento de doenças diarreicas agudas pelo área de DVH e o trabalho de coleta e agendamento de entrega das amostras por parte dos municípios ainda podem ser refinados em *subflows* da mesma forma que aconteceu no Lacen. É interessante, que cada um deles passe por todas as etapas anteriores e já se iniciem os estudos para escolha de um sistema de *workflow* que possa interpretar a modelagem em redes de Petri final englobando não apenas o Lacen e todas as outras áreas já mencionadas, como a futura necessidade de invocação (já prevista por conta

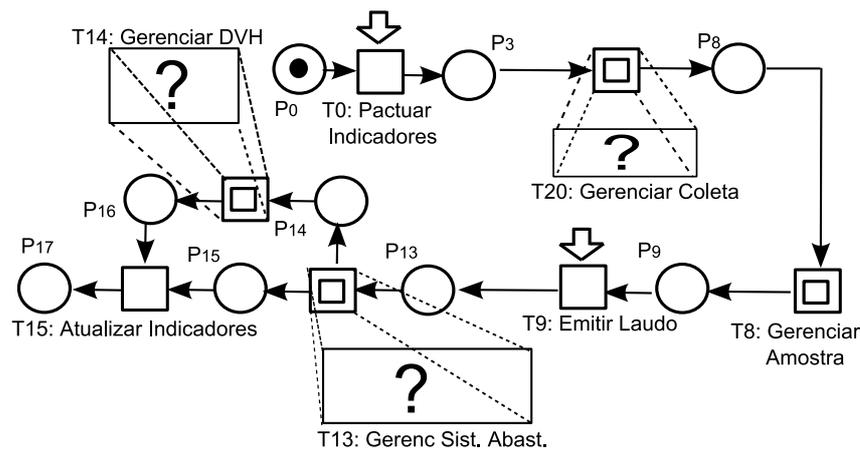


Figura 6.14: Perspectivas de expansão em versões futuras do workflow

da forma de funcionamento do SUS) de outros sistemas de informação do Ministério da Saúde obrigatoriamente usados na área.

Sendo assim, de acordo com a natureza iterativa da metodologia adotada, podemos adiantar algumas mudanças em relação à influência da perspectiva organizacional no projeto, haja visto que os agentes municipais responsáveis pelas notificações de doenças, normalmente não serão os mesmos que fazem a gestão dos sistemas de abastecimento e existe a possibilidade que o trabalho desses diferentes grupos precise funcionar de maneira colaborativa em algum momento do processo. Essa funcionalidade deverá ser prevista em futuras versões do sistema de *workflow*.

Capítulo 7

Resultados

Na área de saúde pública, tivemos como um dos principais resultados a mudança radical na cultura de quatro setores da gestão estadual de saúde (com perspectivas de expansão para outros dois setores em mais alguns meses). O funcionamento dessas áreas como ilhas isoladas de produção de dados mudou para um novo cenário de trabalho cooperativo e de integração dos dados envolvidos por conta da implantação do sistema de *workflow*.

A gestão da informação nessas áreas melhorou consideravelmente. Com uma melhor gestão dos processos, foram descobertas deficiências na forma de trabalho de vários recursos (tanto humanos como materiais) envolvidos no sistema. A eliminação desses gargalos envolveu medidas técnicas e administrativas como capacitação de funcionários, compra de novos insumos para o laboratório e perspectiva de novas alterações no sistema de *workflow*.

Além dos resultados já mencionados, de valor significativo para o trabalho, podemos listar como os três maiores resultados desse projeto:

- A Especificação formal do *workflow* para as atividades de laboratório usando a extensão das redes de Petri dedicadas à modelagem de *workflows* (*workflow-nets*), que teve a sua correteza avaliada através técnicas de análise como: redução e decomposição de tarefas, árvore de alcançabilidade e simulações de disparo de transições. Além desses artifícios a modelagem teve outras propriedades confirmadas através de ferramentas como Woped, PIPE2. Essa interoperabilidade entre aplicativos se deu por conta da adoção da linguagem PNML como formato padrão de troca de arquivos na área de redes de Petri.
- Sistema de *Workflow* para gestão da qualidade da água para consumo humano. Produto implantado no Laboratório central de saúde pública do estado de Alagoas (Lacen-AL) que já conta com uma base de dados com cerca de dez mil amostras de água dos municípios de todo o Estado. Encontra-se atualmente em fase de

expansão, envolvendo outros setores da vigilância em saúde e outros tipos de amostra, como será mais detalhado na seção de trabalhos futuros.

- Motor de extração da base de dados relacional do sistema de *workflow* para arquivos de *log* em XML no formato PNML. O desenvolvimento desse aplicativo nos proporcionou exportar os resultados já obtidos pelo sistema para ferramentas muito conceituadas na área de mineração de processos. As atividades de análise e diagnóstico sobre as informações contidas nos *logs* estão apenas começando pois foi preciso esperar uma quantidade considerável de registros e algumas mudanças na base relacional dos históricos e na estrutura dos registros de log tiveram que ser promovidas. Entretanto, a obtenção de alguns resultados preliminares já revelam alguns hiatos na transição da modelagem de negócio para a especificação do workflow, que serão corrigidos na próxima versão do sistema.

Por fim, foram iniciados novos estudos para esse projeto oferecer integração com outros sistemas fora da fronteira de nossa aplicação, em outras sub-áreas da saúde pública. Esses estudos irão promover uma nova especificação de *workflow* de caráter inter-organizacional com a modelagem de *webservices* e um poder de expressão mas robusto através do uso de outras derivações das redes de Petri de alto nível, conforme será discutido a seguir, na seção de conclusões e trabalhos futuros.

Capítulo 8

Conclusões e Trabalhos Futuros

É notável a contribuição que a especificação formal de *workflows* pode trazer na gestão de processos de negócio de uma organização. A descoberta de relações intrínsecas entre setores, dependências entre tarefas, manipulação dos dados envolvidos e vários outros fatores, que nem sempre aparecem de forma clara resultam na reengenharia dos processos já existentes ou na construção de novos procedimentos mais precisos e organizados.

No entanto, para não nos perdermos nesse tão vasto universo de possibilidades, nos embasamos nas perspectivas de especificação de *workflow* adotadas pela literatura especializada (van der Aalst, 1998; Stohr & Zhao, 2001; Aguilar-Saven, 2004) ao longo dos anos e que possibilita que projetos como esse não saiam do foco. Assim, os resultados expostos na seção anterior, nos levam a algumas conclusões, detalhadas a seguir.

- Independente da área fim que está sendo modelada, é muito comum encontrarmos comportamentos de processo orientados a casos, que favoreçam a implantação de *workflows*. Quando nos restringimos apenas ao domínio escolhido para esse trabalho, a área da saúde pública se comprovou como uma grande máquina recheada de processos dessa natureza e com necessidades urgentes de reparos.
- Além das questões técnicas, a implantação de uma cultura baseada em *workflows* nas organizações também requer muito tato e sensibilidade sob aspectos sociais e humanos. Deve-se procurar constantemente um equilíbrio entre os processos que se apresentam mais corretos e mais adequados à realidade de uma organização.
- Uma constante preocupação nos três grupos (visual, formal e de linguagens executáveis) de modelagem definidos por Vergidis et al. (2008) deixa o processo muito mais rico e completo com uma gama de recursos para responder à todas as necessidades do ciclo de vida de sistemas de *workflow*.
- O uso de linguagens semi-formais com notações de maior poder de expressão gráfico para modelagem do processo de negócio nas fases iniciais faz muita diferença para o projeto, mesmo que estas não apresentem uma base formal como as

redes de Petri. No intuito de facilitar a comunicação com outras pessoas envolvidas no processo, linguagens como UML, EPC e BPMN fazem muito bem o seu papel e depois podem ser convertidas para redes de Petri em uma segunda etapa. No caso específico desse projeto, UML atendeu nossas expectativas mas opções como EPC e principalmente BPMN também podem ser utilizadas.

- As redes de Petri se mostraram muito úteis como ferramenta de apoio na especificação formal do *workflow* e a grande quantidade de extensões do formato original trabalhadas em conjunto com as *workflow-nets* (Liu et al., 2002; Wynn et al., 2009) pode oferecer ainda mais poderes em cenários que exijam critérios aqui não tratados com tantos detalhes, como por exemplo: probabilidade, performance, produtividade, entre outros.
- De todas as técnicas de análise mencionadas pelo trabalho, a verificação e validação foram as mais utilizadas. Entretanto, o potencial para aplicação de simulação em futuras avaliações de performance do modelo de continuidade aos investimentos para geração dos arquivos de log pelo sistema de *workflow* desenvolvido.
- É muito mais produtivo em projetos dessa natureza a adoção de ferramentas que usem formatos de dados interoperáveis (baseados em XML) (Billington et al., 2003) e consolidados, já que muitas vezes nos encontramos em situações onde aplicativos distintos se complementam, cada um se destacando para um tipo de tarefa. O uso de ferramentas com adoção de formatos totalmente proprietários destrói qualquer tipo de flexibilidade, empobrecendo a gama de recursos disponíveis na área de *workflows*.

Em relação ao aspecto multidisciplinar desse programa de Mestrado, esse trabalho comprovou essa característica através de publicações e apresentações em congressos e outros tipos de eventos nas várias áreas envolvidas. São eles:

- Dezembro de 2008: Apresentação no CBIS'08, promovido pela Sociedade Brasileira de Informática em Saúde na cidade de Campos de Jordão-SP (Lins et al., 2008).
- Junho de 2009: Apresentação no WSL'2009 (Workshop de Software Livre), evento da SBC que fez parte do FISL'2009 (Fórum Internacional de Software Livre) ocorrido em Porto Alegre-RS (Lins et al., 2009a).
- Julho de 2009: Apresentação no WIM '09 (Workshop Informática Médica), evento integrante do Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Computação na cidade de Bento Gonçalves-RS (Lins et al., 2009b).

Apesar de termos fechado, nesse projeto, o escopo de pesquisa na área de saúde ambiental, nada impede que esse trabalho possa utilizar as técnicas abordadas em outras áreas da saúde pública, provocando a formalização de outros *workflows* ou até mesmo aumentar a abrangência do que foi definido a partir da descoberta de relações ainda não visíveis em atividades de outros setores (van der Aalst et al., 2003c).

8.1 Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos nesse projeto, a complexidade das regras de negócio cresce exponencialmente a cada nova iteração da metodologia adotada, pois novas características do *workflow* são descobertas à medida que os requisitos de urgência mais elevada são atendidos. Mediante esse comportamento, novas perspectivas de pesquisa podem ser levantadas.

Quando nos limitamos ao uso de redes de Petri convencionais e *workflow-nets* como nossas ferramentas de modelagem formal, essa decisão se deu por conta das características do cenário encontrado. Mesmo com a apresentação de muitas inconsistências, redundâncias e outros tipos de problema, o processo de gestão da água para consumo humano não apresentou, inicialmente, desafios que provocassem o uso de outros tipos de rede de Petri e técnicas de análise adicionais.

No entanto, ao finalizarmos a primeira versão da especificação de *workflow*, vimos que a realidade do domínio escolhido nos escondeu inicialmente, problemas que podem ser tratados de forma ainda mais abrangente com outros tipos de rede e técnicas de análise aqui ainda não aplicadas. São eles:

- As atividades laboratoriais especificadas na primeira versão do *workflow*, também deverão se envolver muito em breve com a análise de amostras de água utilizadas para tratamento em clínicas de hemodiálise. Esse processo envolverá outros unidades de análise com novas regras e interligação com uma outra grande área da saúde pública. A vigilância sanitária que, entre várias outras ações, faz a inspeção periódica das clínicas de saúde autorizadas para esse procedimento.
- A possibilidade de implantação desse sistema de *workflow* em outros estados ratifica a necessidade de intensificação dos estudos para aplicação das técnicas de simulação sob a especificação definida, uma vez que vários dos novos estados escolhidos possuem realidades bem diferentes de Alagoas. Tanto por aspectos qualitativos (já que muitos deles, quando se trata de saúde ambiental, também realizam análise de solo e ar, além de água) como por aspectos quantitativos (uma vez que existem estados brasileiros com um número de municípios muito superior) um universo muito maior e mais diversificado de amostras será manipulado, sendo

muito difícil o estudo de suas variáveis sem o apoio de ferramentas de análise de performance do *workflow*)

Os motivos apontados acima levam a três novas perspectivas de estudo. A primeira delas encontra a ligação dos recursos oferecidos pelas *workflow-nets* coloridas (Liu et al., 2002) para tratar informações que deverão estar contidas nos *tokens*, diferenciando cada categoria de amostra para cumprir rotas distintas de acordo com as regras estabelecidas. O segundo aspecto, relacionado aos aumentos em larga escala para todos os elementos da rede, incentiva um estudo mais aprofundado nas técnicas para análise de performance do *workflow*, iniciando estudos que envolvam aspectos temporais determinísticos e estocásticos, provocando o uso de outros tipos de rede de alto nível.

Em conformidade aos novos tipos de rede mencionados, uma evolução das técnicas de análise até aqui utilizadas se torna obrigatória. Um aprofundamento na análise quantitativa e o estudo mais detalhado dos arquivos de *log* e técnicas de mineração vão trazer muitas outras respostas, enriquecendo ainda mais a metodologia proposta. Quando nos referenciamos, por exemplo, aos tópicos mais recentes sobre *workflow mining*, novas tendências já surgem como evolução desse conceito, avaliando informações de *logs* de *workflow* ainda mais completos. No intuito de diminuir ainda mais o hiato entre as etapas do ciclo de vida do *workflow* e de promover o uso da simulação para fins que vão além de oferecer apenas estatísticas, o trabalho de Rozinat et al. (2009) identifica novos tipos de informação que poderão ser geradas em arquivos de *log* e usadas posteriormente na criação de modelos de simulação mais próximos da realidade, trazendo informações ainda mais valiosas nas tomadas de decisão dos gestores.

Por fim, a expansão da visão orientada a processos na saúde pública, fomentou o início de novos projetos similares, como por exemplo a área crítica da gestão hospitalar e seus processos de negócio, envolvendo setores como farmácia, laboratório, ambulatório, internação, entre outros. Especificações de *workflow* desse porte deverão ainda contemplar futuras integrações com outros sistemas de *workflow* ou outros tipos de sistemas orientados a processo, como os ERP, SCM, entre outros. Todas essas propostas comprovam a força do tema escolhido e a variedade de pesquisa que ainda pode surgir.

Apêndice A

Imagens de Campo



Figura A.1: Setor de recepção de amostras de água no Lacen-AL



Figura A.2: Amostras de água entregues pelo município



Figura A.3: Amostras de água separadas para análise



Figura A.4: Visita técnica da vigilância ambiental



Figura A.5: Projeto de cisterna no sertão do estado



Figura A.6: Construção de cisterna em fase final



Figura A.7: Comunidade consome água poluída



Figura A.8: Água imprópria para consumo

Referências

- Aarhus (2009), 'Department of Computer Science, Faculty of Science, Aarhus University, CPN Group - Industrial Examples'. URL <http://www.cs.au.dk/CPnets/intro/industrial.shtml>, Último acesso em 20 de janeiro 2010.
- Aarts, J., Ash, J. & Berg, M. (2007), 'Extending the understanding of computerized physician order entry: Implications for professional collaboration, workflow and quality of care', *International Journal of Medical Informatics* **76**, 4–13.
- Aguilar-Saven, R. (2004), 'Business process modelling: Review and framework', *International Journal of Production Economics* **90**(2), 129–149.
- Allen, R. (2001), 'Workflow: An introduction', *Workflow Handbook Series* pp. 15–38.
- AMIA (2009), 'American Medical Informatics Association - The Professional Home for Biomedical and Health Informatics'. URL <http://www.amia.org>, Último acesso em 30 de junho 2009.
- Ammenwerth, E., Graber, S., Herrmann, G., Burkle, T. & König, J. (2003), 'Evaluation of health information systems-problems and challenges', *International Journal Of Medical Informatics* **71**(2-3), 125–135.
- ARIS (2009), 'ARIS Platform: Market-Leading Technology for Business Process Management'. URL http://www.ids-scheer.com/en/ARIS_ARIS_Platform/3730.html, Último acesso em 30 de Dezembro de 2009.
- Bae, H., Hu, W., Yoo, W., Kwak, B., Kim, Y. & Park, Y. (2004), 'Document configuration control processes captured in a workflow', *Computers in Industry* **53**(2), 117–131.
- Baeten, J. (2005), 'A brief history of process algebra', *Theoretical Computer Science* **335**(2-3), 131–146.
- Baresi, L. & Pezze, M. (2000), A Formal Definition of Structured Analysis with Programmable Graph Grammars, in Nagl, M and Schurr, A and Munch, M, ed., 'Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance, Proceedings', Vol. 1779 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Berlin, pp. 193–208.
- Basu, A. & Blanning, R. (2000), 'A formal approach to workflow analysis', *Information Systems Research* **11**(1), 17–36.

- Beer, S. (69), *Cibernetica e Automacao Industrial*, Zahar Editores.
- Berg, M. (1999), 'Patient care information systems and health care work: A sociotechnical approach', *International Journal of Medical Informatics* 55(2), 87–101.
- Berg, M. (2001), 'Implementing information systems in health care organizations: Myths and challenges', *International Journal of Medical Informatics* 64(2-3, Sp. Iss. SI), 143–156.
- Bertalanffy, L. V. (1975), *Teoria geral dos sistemas*, Ed. Vozes.
- Billington, J., Christensen, S., van Hee, K., Kindler, E., Kummer, O., Petrucci, L., Post, R., Stehno, C. & Weber, M. (2003), The Petri net markup language: Concepts, technology, and tools, in van der Aalst, WMP and Best, E, ed., 'Applications and Theory of Petri Nets 2003, Proceedings', Vol. 2679 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Berlin, pp. 483–505.
- Bonet (2009), 'PIPE 2.5 by Pere Bonet, Universitat de les Illes'. URL <http://www.woped.org>, Último acesso em 30 de março 2009.
- Booch, G., Rumbaugh, J. & Jacobson, I. (2004), *UML: Guia do Usuário*, 2 ed., Campus.
- BPM09 (2009), '7th. International Conference on Business Process Management'. URL <http://www.bpm2009.org>, Último acesso em 15 de dezembro 2009.
- BPMI (2009), 'Business Process Management Initiative'. URL <http://www.bpmi.org/>, Último acesso em 25 de dezembro 2009.
- BPMInstitute09 (2009), 'BPMInstitute - A Peer to Peer Exchange for Business Process Management Professionals'. URL <http://www.bpminstitute.org/>, Último acesso em 25 de dezembro 2009.
- Bricon-Souf, N., Renard, J. & Beuscart, R. (1999), 'Dynamic workflow model for complex activity in intensive care unit', *International Journal of Medical Informatics* 53(2-3), 143–150.
- Bush, M., Lederer, A. L., Li, X., Palmisano, J. & Rao, S. (2009), 'The alignment of information systems with organizational objectives and strategies in health care', *International Journal of Medical Informatics* 78(7), 446–456.
- Capra, F. (2003), *A Teia da Vida : Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*, Cultrix, SP.
- Cardoso, J., Bostrom, R. & Sheth, A. (2004), 'Workflow Management Systems and ERP systems: Differences, commonalities, and applications', *Information Technology and Management* 5(3), 319–338.
- Casati, F., Ceri, S., Paraboschi, S. & Pozzi, G. (1999), 'Specification and implementation of exceptions in workflow management systems', *ACM Transactions on Database Systems* 24(3), 405–451.

- Christensen, T., Faxvaag, A., Laerum, H. & Grimsmo, A. (2009), 'Norwegians GPs' use of electronic patient record systems', *International Journal of Medical Informatics* 78(12), 808–814.
- Coolahan, J. & Roussopolos, N. (1983), 'Timing requirements for time-driven systems using augmented Petri nets', *IEEE Transactions on Software Engineering* 9(5), 603–616.
- Cooper, M. J., Gwin, C. F. & Wakefield, K. L. (2008), 'Cross-functional interface and disruption in CRM projects: Is marketing from Venus and information systems from Mars?', *Journal of Business Research* 61(4), 292–299.
- CooPIS (2010), 'International Conference on Cooperative Information Systems - CooPIS'. URL <http://www.onthemove-conferences.org/index.php/coopis>, Último acesso em 04 de Janeiro de 2010.
- Cravo, G. (2010), 'Applications of propositional logic to workflow analysis', *Applied Mathematics Letters* 23(3), 272–276.
- CSCW (2010), 'ACM Conference on Computer Suported Cooperative Work - CSCW'. URL <http://www.cscw2010.org>, Último acesso em 04 de Janeiro de 2010.
- Davenport, T. & Stoddard, D. (1994), 'Reengineering - Business change of mythic proportions', *MIS Quarterly* 18(2), 121–127.
- Dehnert, J. & van Der Aalst, W. (2004), 'Bridging the gap between business models and workflow specifications', *International Journal of Cooperative Information Systems* 13(3), 289–332.
- Du, Y., Jiang, C., Zhou, M. & Fu, Y. (2009), 'Modeling and monitoring of E-commerce workflows', *Information Sciences* 179(7), 995–1006.
- Dustdar, S., Fiadeiro, J. L. & Sheth, A. (2008), 'Business process management', *Data & Knowledge Engineering* 64(1), 1–2.
- EFMI (2009), 'European Federation for Medical Informatics'. URL <http://www.helmholtz-muenchen.de/ibmi/efmi/>, Último acesso em 04 de julho 2009.
- Ellis, C. & Nutt, G. (1980), 'Office information systems and computer science', *Computing Surveys* 12(1), 26–60.
- Ellis, C., Gibbs, S. & Rein, G. (1991), 'Groupware - Some issues and experiences', *Communications of the ACM* 34(1), 38–58.
- EuroMISE (2009), 'European Centre for Medical Informatics, Statistics and Epidemiology'. URL <http://www.euromise.org>, Último acesso em 01 de julho 2009.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. & Vlissides, J. (1995), *Design patterns*, Addison-Wesley Reading, MA.
- Georgakopoulos, D., Hornick, M. & Sheth, A. (1995), 'An overview of workflow management - from process modelling to workflow automation infrastructure', *Distributed and Parallel Databases* 3(2), 119–153.

- Gerogiannis, V., Kameas, A. & Pintelas, P. (1998), 'Comparative study and categorization of high-level petri nets', *Journal of Systems And Software* 43(2), 133–160.
- Giaglis, G. (2001), 'A taxonomy of business process modeling and information systems modeling techniques', *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 13(2), 209–228.
- Goodwin, L., VanDyne, M., Lin, S. & Talbert, S. (2003), 'Data mining issues and opportunities for building nursing knowledge', *Journal Of Biomedical Informatics* 36(4-5), 379–388.
- Gostin, L. (2003), 'Public health and law: Past and future visions', *Journal of Health Politics, Policy and Law*.
- Ha, S. & Suh, H.-W. (2008), 'A timed colored Petri nets modeling for dynamic workflow in product development process', *Computers in Industry* 59(2-3), 193–209.
- Hagen, C. & Alonso, G. (2000), 'Exception handling in workflow management systems', *IEEE Transactions on Software Engineering* 26(10), 943–958.
- Hammer, M. & Champy, J. (1994), 'Reengineering the corporation - A manifesto for business revolution', *Academy of Management Review* 19(3), 595–600.
- Harper, R., OHara, K., Sellen, A. & Duthie, D. (1997), 'Toward the paperless hospital?', *British Journal of Anaesthesia* 78(6), 762–767.
- Haux, R. (2006), 'Health information systems - past, present, future', *International Journal of Medical Informatics* 75(3-4), 268–281.
- Heeks, R. (2006), 'Health information systems: Failure, success and improvisation', *International Journal of Medical Informatics* 75(2), 125–137.
- Hendricks, K. B., Singhal, V. R. & Stratman, J. K. (2007), 'The impact of enterprise systems on corporate performance: A Study of ERP, SCM, and CRM system implementations', *Journal Of Operations Management* 25(1), 65–82.
- Hill, J., Pezzini, M. & Natis, Y. (2008), 'Findings: confusion remains regarding BPM terminologies', *Gartner Research*.
- HIMSS (2009), 'Healthcare Information and Management Systems Society '. URL <http://www.himss.org>, Último acesso em 01 de julho 2009.
- HL7 (2009), 'Heath Level Seven Brasil'. URL <http://www.hl7brasil.org.br/>, Último acesso em 19 de julho 2009.
- IBGE (2008), 'Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE: Mortalidade Infantil no Brasil'. URL <http://www.ibge.gov.br>, Último acesso em 23 de fevereiro 2010.
- ICWM (2010), 'International Workshop on Workflow Management'. URL <http://www.swinflow.org/confs/ICWM2009/ICWM2009.htm>, Último acesso em 04 de Janeiro de 2010.

- IMIA (2009), 'International Medical Informatics Association'. URL <http://www.imia.org>, Último acesso em 01 de julho 2009.
- Inkscape (2010), 'Inkscape. Draw freely'. URL <http://www.inkscape.org/>, Último acesso em 02 de abril 2010.
- ISO/IEC 15909 (2004), 'ISO - Internet Organization for Standardization - Software and system engineering - ISO/IEC 15909-1:2004 - High-level Petri nets - Part 1: Concepts, definitions and graphical notation'. URL http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38225&commid=45020, Último acesso em 17 de Janeiro de 2010.
- JabRef (2010), 'JabRef Reference Manager'. URL <http://jabref.sourceforge.net/>, Último acesso em 02 de abril 2010.
- Jensen, K. (1997), 'A brief introduction to coloured Petri Nets', *Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems* 1217, 203–208.
- King, S. F. (2007), 'Citizens as customers: Exploring the future of CRM in UK local government', *Government Information Quarterly* 24(1), 47–63.
- Ko, R., Lee, S. & Lee, E. (2009), 'Business process management (BPM) standards: A survey', *Business Process Management Journal*.
- Lenz, R. & Kuhn, K. (2004), 'Towards a continuous evolution and adaptation of Information Systems in healthcare', *International Journal of Medical Informatics* 73(1), 75–89.
- Lenz, R. & Reichert, M. (2007), 'IT support for healthcare processes—premises, challenges, perspectives', *Data & Knowledge Engineering* 61(1), 39–58.
- Liang, L. & Miranda, R. (2001), 'Dashboards and Scorecards: Executive Information Systems for the Public Sector', *Government Finance Review* 17(6), 14–19.
- Lindsay, A., Downs, D. & Lunn, K. (2003), 'Business processes - attempts to find a definition', *Information and Software Technology* 45(15), 1015–1019.
- Lins, A., Morais, T. & Almeida, E. (2009a), Modelagem formal de *workflow* com redes de Petri e software livre na gestão de processos de negócio em saúde pública, in '10º Fórum Internacional de Software Livre - A Tecnologia que liberta. X Workshop de Software Livre', SBC, p. 172.
- Lins, A., Morais, T. & Almeida, E. (2009b), Modelagem formal de workflow com redes de Petri na gestão de processos de negócio em saúde ambiental, in 'Livro de Resumos - XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação', SBC, p. 101.
- Lins, A., Silva, T. & Almeida, E. (2008), 'XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde: Gerenciamento dos dados e processos de negócio na modelagem de um padrão de workflow para inferência sobre indicadores de saúde pública'. URL <http://www.sbis.org.br/cbis11/arquivos/762.pdf>, Último acesso em 02 de abril 2010.

- List, B. & Korherr, B. (2006), An evaluation of conceptual business process modelling languages, *in* 'Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing', ACM, p. 1539.
- Liu, D., Wang, J., Chan, S., Sun, J. & Zhang, L. (2002), 'Modelling workflow processes with colored Petri nets', *Computers in Industry* 49(3), 267–281.
- Ludascher, B., Altintas, I., Berkley, C., Higgins, D., Jaeger, E., Jones, M., Lee, E. A., Tao, J. & Zhao, Y. (2006), 'Scientific workflow management and the Kepler system', *Concurrency And Computation-practice & Experience* 18(10), 1039–1065.
- Luo, Z., Sheth, A., Kochut, K. & Miller, J. (2000), 'Exception handling in workflow systems', *Applied Intelligence* 13(2), 125–147.
- Madhusudan, T. (2005), 'An agent-based approach for coordinating product design workflows', *Computers In Industry* 56(3), 235–259.
- Malhotra, S., Jordan, D., Shortliffe, E. & Patel, V. L. (2007), 'Workflow modeling in critical care: Piecing together your own puzzle', *Journal of Biomedical Informatics* 40(2), 81–92.
- Marranghello, N. (2005), *Redes de Petri: Conceitos e Aplicações*, DCCE/IBILCE/UNESP.
- Mendling, J., Reijers, H. A. & van der Aalst, W. M. P. (2010), 'Seven process modeling guidelines (7PMG)', *Information And Software Technology* 52(2), 127–136.
- Merlin, P. & Farber, D. (1976), 'Recoverability of communication protocols - Implications of a theoretical-study', *IEEE Transactions on Communications* 24(9), 1036–1043.
- Molloy, M. (1982), 'Performance analysis using stochastic Petri nets', *IEEE Transactions on Computers* 31(9), 913–917.
- MS (2009), 'Governo Federal - Ministerio da Saude'. URL <http://www.saude.gov.br/>, Último acesso em 19 de julho 2009.
- Muller, H., Michoux, N., Bandon, D. & Geissbuhler, A. (2004), 'A review of content-based image retrieval systems in medical applications - clinical benefits and future directions', *International Journal of Medical Informatics* 73(1), 1–23.
- Murata, T. (1989), 'Petri Nets - Properties, analysis and applications', *Proceedings of the IEEE* 77(4), 541–580.
- Neubauer, A., Priglinger, S. & Ehrt, O. (2001), 'Electronic versus paper-based patient records. A cost-benefit analysis', *Ophthalmologie* 98(11), 1083–1088.
- O'Brien, J. A. (2004), *Sistemas De Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet*, Saraiva.
- Oliveira, C. A. L. (2008), Uma abordagem para melhoria de workflow usando redes de petri estocásticas generalizadas, Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

- Olson, M. & Lucas, H. (1982), 'The Impact of office automation on the organization - Some implications for research and practice', *Communications of the ACM* 25(11), 838–847.
- OMG (2009), 'Object Management Group'. URL <http://www.omg.org/>, Último acesso em 25 de dezembro 2009.
- Pan, S.-L., Tan, C.-W. & Lim, E. T. K. (2006), 'Customer relationship management (CRM) in e-government: a relational perspective', *Decision Support Systems* 42(1), 237–250.
- Pernici, B. & Weske, M. (2006), 'Business process management', *Data & Knowledge Engineering* 56(1), 1–3.
- Peterson, J. (1977), 'Petri nets', *Computing Surveys* 9(3), 223–252.
- PetriNets (2009), '30th International Conference on Application and Theory of Petri Nets and Other Models of Concurrency'. URL <http://petrinets2009.lip6.fr/>, Último acesso em 17 de janeiro 2009.
- Plesums, C. (2002), 'Introduction to workflow', *Workflow Handbook Series* pp. 19–38.
- Porter, M. (1996), 'What is strategy?', *Harvard Business Review* 74(6), 61–&.
- Pratt, W., Reddy, M., McDonald, D., Tarczy-Hornoch, P. & Gennari, J. (2004), 'Incorporating ideas from computer-supported cooperative work', *Journal of Biomedical Informatics* 37(2), 128–137.
- ProM (2010), 'Process mining'. URL <http://prom.win.tue.nl/research/wiki/prom/start>, Último acesso em 05 de março 2010.
- Reichert, M. & Dadam, P. (1998), 'ADEPT(flex) - Supporting dynamic changes of workflows without losing control', *Journal of Intelligent Information Systems* 10(2), 93–129.
- Reijers, H., Limam, S. & van der Aalst, W. (2003), 'Product-based workflow design', *Journal of Management Information Systems* 20(1), 229–262.
- Reinhard, W., Schweitzer, J., Volksen, G. & Weber, M. (1994), 'CSCW Tools - Concepts And Architectures', *Computer* 27(5), 28–36.
- Ripsa, ed. (2008), *Rede Interagencial de Informação para a Área de Saúde - Indicadores Básicos para Saúde no Brasil: Conceitos e Aplicacoes*, 2 ed., Organizacao Pan-americana de Saúde, Brasilia.
- Rozinat, A., Wynn, M. T., van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M. & Fidge, C. J. (2009), 'Workflow simulation for operational decision support', *Data & Knowledge Engineering* 68(9, Sp. Iss. SI), 834–850.
- Russell, N., Arthur, van der Aalst, W. M. P. & Mulyar, N. (2006), Workflow control-flow patterns: A revised view, Technical report, BPMcenter.org.

- Russell, N., Hofstede, A., Edmond, D. & van der Aalst, W. (2005a), 'Workflow data patterns: Identification, representation and tool support', *Lecture Notes in Computer Science* **3716**, 353.
- Russell, N., van der Aalst, W., ter Hofstede, A. & Edmond, D. (2005b), Workflow resource patterns: Identification, representation and tool support, in Pastor, O and Chunha, JFE, ed., 'Advanced Information Systems Engineering, Proceedings', Vol. 3520 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Berlin, pp. 216–232.
- Salimifard, K. & Wright, M. (2001), 'Petri net-based modelling of workflow systems: An overview', *European Journal of Operational Research* **134**(3), 664–676.
- SAP (2009), 'SAP Brasil - Software de gestão empresarial, soluções, aplicativos e serviços para grandes, pequenas e médias empresas'. URL <http://www.sap.com/brazil/index.epx>, Último acesso em 26 de Dezembro de 2009.
- SBIS (2009), 'Sociedade Brasileira de Informática em Saúde'. URL <http://www.sbis.org.br>, Último acesso em 01 de julho 2009.
- Schulz, K. & Orlowska, M. (2004), 'Facilitating cross-organisational workflows with a workflow view approach', *Data & Knowledge Engineering* **51**(1), 109–147.
- Schweiger, R., Brumhard, M., Hoelzer, S. & Dudeck, J. (2005), 'Implementing health care systems using XML standards', *International Journal of Medical Informatics* **74**(2-4), 267–277.
- Shen, V. R. L. & Juang, T. T.-Y. (2008), 'Verification of knowledge-based systems using predicate/transition nets', *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part A - Systems and Humans* **38**(1), 78–87.
- Sifakis, J. (1980), 'Use of Petri nets for performance evaluation', *Acta Cybernetica* **4**, 185–202.
- Somers, T. & Nelson, K. (2004), 'A taxonomy of players and activities across the ERP project life cycle', *Information & Management* **41**(3), 257–278.
- Souza, Gleim Dias de; Carvalho, M. d. S. M. V. d. & Liboreiro, M. A. M. (2006), 'Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação', *Revista da Administração Pública* **40**(4), 699–729.
- Stair, R. M. & George, R. (2006), *Princípio de Sistemas de Informação*, 6th ed., Thomson.
- Stohr, E. & Zhao, J. (2001), 'Workflow automation: Overview and research issues', *Information Systems Frontiers* **3**(3), 281–296.
- Texmaker (2010), 'Texmaker. Free cross-platform Latex Editor'. URL <http://www.xmlmath.net/texmaker/>, Último acesso em 02 de abril 2010.
- TIBCO (2010), 'Service Oriented Architecture and Business Process Management Software'. URL <http://www.tibco.com/>, Último acesso em 16 de Janeiro de 2010.

- van der Aalst, W. (1996), Structural characterizations of sound workflow-nets, Technical Report Computing Science Reports 96/23, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- van der Aalst, W. (1997), 'Verification of Workflow nets', *Application and Theory of Petri Nets 1997* **1248**, 407–426.
- van der Aalst, W. (1998), 'The application of Petri nets to workflow management', *Journal of Circuit Systems and Computers* **8**(1), 21–66.
- van der Aalst, W. (1999), 'Process-oriented architectures for electronic commerce and interorganizational workflow', *Information Systems* **24**(8), 639–671.
- van der Aalst, W. (2000a), 'Loosely coupled interorganizational workflows: Modeling and analyzing workflows crossing organizational boundaries', *Information & Management* **37**(2), 67–75.
- van der Aalst, W. (2000b), 'Workflow verification: Finding control-flow errors using Petri-net-based techniques', *Business Process Management* **1806**, 161–183.
- van der Aalst, W. (2004), Business process management demystified: A tutorial on models, systems and standards for workflow management, in Desel, J and Reisig, W and Rozenberg, G, ed., 'Lectures on Concurrency and Petri Nets - Advances in Petri Nets', Vol. 3098 of *Lectures Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Berlin, pp. 1–65.
- van der Aalst, W. & Jablonski, S. (2000), 'Dealing with workflow change: Identification of issues and solutions', *Computer Systems Science and Engineering* **15**(5), 267–276.
- van der Aalst, W. & Kumar, A. (2003), 'XML-based Schema definition for support of interorganizational workflow', *Information Systems Research* **14**(1), 23–46.
- van der Aalst, W. & ter Hofstede, A. (2005), 'YAWL: yet another workflow language', *Information Systems* **30**(4), 245–275.
- van der Aalst, W. et al. (1998), 'Three good reasons for using a Petri-net-based workflow management system', *Kluwer International Series In Engineering and Computer Science* pp. 161–182.
- van der Aalst, W. M. P., Rosemann, M. & Dumas, M. (2007a), 'Deadline-based escalation in process-aware information systems', *Decision Support Systems* **43**(2), 492–511.
- van der Aalst, W., ter Hofstede, A. & Weske, M. (2003a), 'Business process management: A survey', *Business Process Management, Proceedings* **2678**, 1–12.
- van der Aalst, W., Ter Hofstede, A., Kiepuszewski, B. & Barros, A. (2003b), 'Workflow patterns', *Distributed and Parallel Databases* **14**(1), 5–51.
- van der Aalst, W., van Dongen, B., Gunther, C., Mans, R., de Medeiros, A., Rozinat, A., Rubin, V., Song, M., Verbeek, H. & Weijters, A. (2007b), 'ProM 4.0: Comprehensive support for real process analysis', *Lecture Notes in Computer Science* **4546**, 484.

- van der Aalst, W., van Dongen, B., Herbst, J., Maruster, L., Schimm, G. & Weijters, A. (2003c), 'Workflow mining: A survey of issues and approaches', *Data and Knowledge Engineering* 47(2), 237–267.
- van der Aalst, W., Weijters, T. & Maruster, L. (2004), 'Workflow mining: Discovering process models from event logs', *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 16(9), 1128–1142.
- van Dongen, B., van der Aalst, W. & Verbeek, H. (2005), Verification of EPCs: Using Reduction Rules and Petri nets, in 'Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 2005', Vol. 3520, Springer, pp. 372–386.
- van Hee, K., Hidders, J., Houben, G.-J., Paredaens, J. & Thiran, P. (2009), 'On the relationship between workflow models and document types', *Information Systems* 34(1), 178–208.
- Verbeek, E. & van der Aalst, W. (2000), Woflan 2.0 - A Petri-net-based workflow diagnosis tool, in Nielsen, M and Simpson, D, ed., 'Application and Theory of Petri Nets 2000, Proceedings', Vol. 1825 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag Berlin, pp. 475–484.
- Vergidis, K., Tiwari, A. & Majeed, B. (2008), 'Business process analysis and optimization: Beyond reengineering', *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C - Applications and Reviews* 38(1), 69–82.
- Wang, Y. (2002), 'The real-time process algebra (RTPA)', *Annals Of Software Engineering* 14(1-4), 235–274.
- WFMC (2009), 'The Workflow Management Coalition Especification'. URL <http://www.wfmc.org/standards/docs/tc003v11.pdf>, Último acesso em 12 de outubro 2009.
- Woped (2009), 'Workflow Petri Net Designer'. URL <http://www.woped.org>, Último acesso em 30 de março 2009.
- Wynn, M. T., Verbeek, H. M. W., van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M. & Edmond, D. (2009), 'Soundness-preserving reduction rules for reset workflow nets', *Information Sciences* 179(6), 769–790.
- Xiao, Y. (2005), 'Artifacts and collaborative work in healthcare: methodological, theoretical, and technological implications of the tangible', *Journal of Biomedical Informatics* 38(1), 26–33.
- Yu, J. & Buyya, R. (2005), 'A taxonomy of scientific workflow systems for grid computing', *Sigmmod Record* 34(3), 44–49.
- Zurawski, R. & Zhou, M. (1994), 'Petri Nets and industrial applications - A tutorial', *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 41(6), 567–583.

Este documento foi preparado utilizando L^AT_EX.
As referências bibliográficas foram administradas com B_IB_TE_X.
O fonte do texto é Beton e o das equações Euler e Eucal, em 12 pontos.