

Manassés Ribeiro

*Extensão ao Modelo WfMC para Servidores de
Workflow em Ambientes Hospitalares*

Florianópolis / SC

Março de 2007

Manassés Ribeiro

*Extensão ao Modelo WfMC para Servidores de
Workflow em Ambientes Hospitalares*

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências da Computação.

Orientador:

Prof. Dr. rer nat. Aldo von Wangenheim

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Florianópolis / SC

Março de 2007

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Computação, área de concentração Sistemas de Computação, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação.

Prof. Dr. Rogério Cid Bastos
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. rer. nat. Aldo von Wangenheim
Orientador

Prof. Dr. Jovelino Falqueto
INE - UFSC

Prof. Dr. Mauro Roisenberg
INE - UFSC

Prof. Dr. Roger Walz
CCS - UFSC

Profª. Dra. Sayonara de Fátima Faria Barbosa
CCS - UFSC

*"Algo que aprendi em uma longa vida: toda nossa ciência, medida contra a realidade, é primitiva e infantil e ainda assim, é a coisa mais preciosa que temos"***Albert Einstein**

*Dedico esta dissertação a minha mãe e a mãe da minha filha
por terem me dado apoio nos momentos mais difíceis,
e para minha filha,
que tem sido um norteador para a minha vida
mostrando a simplicidade de ter esperança.*

Sumário

Lista de abreviaturas

Lista de tabelas

Lista de figuras

Lista de procedimentos

Resumo

Abstract

1	Introdução	p. 15
1.1	Definição do problema	p. 16
1.2	Justificativa	p. 17
1.3	Objetivos do trabalho	p. 18
1.3.1	Objetivo geral	p. 18
1.3.2	Objetivos específicos	p. 18
1.4	Contextualização de ambiente	p. 19
1.4.1	Unidades hospitalares, um ambiente dinâmico	p. 19
1.4.2	Necessidades encontradas em unidades hospitalares	p. 20
1.4.3	Configuração e re-configuração de procedimentos clínicos	p. 22
1.4.4	Otimização individual	p. 23
1.4.5	Otimização de recursos no ambiente	p. 24
1.5	Trabalhos correlatos	p. 25

1.6	Metodologia	p. 26
1.7	Estrutura do trabalho	p. 27
2	Fundamentação Teórica	p. 30
2.0.1	Workflow Management Coalition - (WfMC)	p. 30
2.1	Configuração e planejamento	p. 32
2.1.1	Conceituação	p. 33
2.1.2	Tipos de planejamento	p. 34
2.1.3	Planejamento hierárquico	p. 35
2.1.4	Planejamento não-hierárquico	p. 35
2.1.5	Planejamento linear	p. 35
2.1.6	Planejamento não-linear	p. 36
2.2	Manutenção de contexto	p. 36
2.3	Sistema de manutenção da verdade (TMS)	p. 37
2.3.1	Representação	p. 38
2.3.2	Aplicação	p. 38
2.3.3	Tipos de TMS	p. 39
2.3.3.1	Sistema de manutenção da verdade baseada em propagação de restrições booleanas (BCP)	p. 39
2.3.3.2	Sistema de manutenção da verdade baseada em suposições (ATMS)	p. 39
2.3.3.3	Sistema de manutenção da verdade baseada em Justificativas (TMS)	p. 39
3	Materiais e Métodos	p. 41
3.1	Processo de configuração de atividades	p. 42
3.1.1	Aplicação de heurísticas no processo de configuração	p. 42
3.1.2	Procedimentos de configuração	p. 44

3.1.3	Dependência temporal	p. 45
3.2	Manutenção do contexto	p. 50
3.2.1	Re-configuração de atividades utilizando o contexto	p. 54
3.3	Validação	p. 58
3.3.1	Experimentos simulados	p. 58
3.3.2	Experimentos no Centro Cirúrgico do Hospital Universitário	p. 61
4	Resultados	p. 67
4.1	Resultados dos experimentos simulados	p. 67
4.1.1	Resultados da primeira simulação	p. 67
4.1.2	Resultados da segunda simulação	p. 69
4.1.3	Resultados da terceira simulação	p. 71
4.2	Resultados da validação realizada no Centro Cirúrgico	p. 72
5	Considerações Finais	p. 75
5.1	Contribuições do trabalho	p. 76
5.2	Dificuldades encontradas	p. 77
5.3	Trabalhos futuros	p. 77
	Referências Bibliográficas	p. 79
	Referências	p. 79
	APÊNDICE A - Representação Gráfica dos Algoritmos de Configuração com Dependência Temporal	p. 83
	Representação gráfica do algoritmo geral de configuração	p. 83
	Representação gráfica do algoritmo de configuração de atividades	p. 84
	Representação diagrama 2.6	p. 85
	Representação diagrama 2.7	p. 86

Representação diagrama 2.8	p.87
Representação diagrama 2.9	p.88
APÊNDICE B - Servidor de <i>Workflow</i>	p.89
Protocolo de comunicação	p.89
Apresentação dos dados	p.91
Protocolo de mensagens de serviços de <i>workflow</i>	p.92
APÊNDICE C - Artigos Publicados sobre o Tema	p.93
Aplicação de configuração em sistemas de gerenciamento de <i>workflow</i> hospitalar	p.93
Cyclops Workflow Server: Uma Proposta para um modelo de um servidor de fluxo de atividades médico-hospitalar	p.99

Lista de abreviaturas

API	Application Program Interface
ATMS	Assumption Based TMS
BCP	Boolean Constraint Propagation
CC	Centro Cirúrgico
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DDE	Dynamic Data Exchange
HU	Hospital Universitário
JTMS	Justification Based TMS
OLE	Object Linking and Embedding
RPA	Recuperação pós-anestésico
RX	Radriografia
TC	Tomografia computadorizada
TMS	Truth Maintenance System
USG	Ultrassonografia
UTI	Unidade de tratamento intensivo
XML	Extensible Markup Language
WfMC	Workflow Management Coalition

Lista de tabelas

Tabela 1	Agenda dos recursos do ambiente antes da configuração	p. 47
Tabela 2	Agenda dos recursos do ambiente após a configuração	p. 48
Tabela 3	Agenda dos recursos após configuração com dependência temporal	p. 50
Tabela 4	Tabela de atores	p. 59
Tabela 5	Tabela de recursos	p. 60
Tabela 6	Tabela das salas cirúrgicas do CC/HU	p. 62
Tabela 7	Tabela de disponibilidade de médicos anestesistas no CC/HU	p. 62
Tabela 8	Escala de cirurgia do CC/HU	p. 65
Tabela 9	Procedimentos cirúrgicos realizados no CC/HU	p. 66
Tabela 10	Tabela das salas cirúrgicas e suas características	p. 64
Tabela 11	Tabela de percentuais da primeira simulação	p. 68
Tabela 12	Tabela de percentuais da segunda simulação	p. 70
Tabela 13	Tabela de percentuais da terceira simulação	p. 71
Tabela 14	Tabela de percentuais após a retração de 40%	p. 71
Tabela 15	Tabela de percentuais após re-configuração	p. 72
Tabela 16	Tabela de percentuais da agenda do CC	p. 73
Tabela 17	Primitivas de conexão	p. 90

Lista de figuras

Figura 1	Interfaces padronizadas pela WfMC	p. 30
Figura 2	Algoritmo de configuração	p. 34
Figura 3	Contexto apresentado por Petrie	p. 37
Figura 4	TMS como manutenção de contexto apresentado por Petrie	p. 40
Figura 5	Modelo do servidor de <i>workflow</i>	p. 42
Figura 6	Plano de <i>workflow</i> - exame radiológico	p. 46
Figura 7	Representação gráfica do nodo sentença da atividade preparação paciente	p. 52
Figura 8	Representação gráfica da rede de dependência	p. 53
Figura 9	Inserção de um nodo de cancelamento na rede de dependência	p. 55
Figura 10	Representação gráfica do processo de re-configuração	p. 57
Figura 11	Representação gráfica da configuração da primeira simulação	p. 69
Figura 12	Representação gráfica da configuração da segunda simulação	p. 70
Figura 13	Configuração do CC/HU após expediente	p. 74
Figura 14	Representação gráfica dos serviços conexão, envio de dados e desconexão	p. 89
Figura 15	Representação gráfica da mensagem	p. 90
Figura 16	Representação gráfica da <i>mensagem de dados</i>	p. 91

Lista de procedimentos

Procedimento 1	Procedimento de configuração de atividades	p.44
Procedimento 2	Procedimento de configuração de <i>workflow</i>	p.45
Procedimento 3	Procedimento de configuração de atividade com dependência temporal	p.50

Resumo

As unidades hospitalares caracterizam-se pela dificuldade em gerenciar de maneira eficiente a utilização de recursos compartilhados. Estes recursos podem ser humanos, físicos ou materiais e, comumente, apresentam disponibilidade limitada, apesar da alta demanda de utilização. Outra característica importante neste tipo de ambiente é a natureza dinâmica da execução de seus processos, a qual requer agilidade na tomada de decisão e flexibilidade no seu gerenciamento e que, geralmente, não é contemplada de maneira adequada. Medidas podem ser adotadas visando minimizar os problemas, considerando a utilização racionalizada dos recursos disponíveis, aliada ao gerenciamento adequado dos processos.

Para o controle e gerenciamento de atividades, existem modelos consistentes de controle de fluxo de trabalho, ou *workflow*. O modelo mais difundido é proposto pela WfMC aplicado com sucesso em processos de negócios que possuem um fluxo seqüencial de execução. No entanto, ambientes dinâmicos possuem necessidades que exigem maior flexibilidade na configuração de atividades. Entre tais necessidades encontra-se a de manter uma seqüência cronológica entre as atividades e a de manutenção do conhecimento produzido pelos passos de configuração para que possam ser utilizados em processos futuros.

Este trabalho, portanto, propõe uma extensão ao modelo apresentado pela WfMC para ser aplicado na realidade encontrada em ambientes hospitalares, adaptando-se às características apresentadas por este ambiente especificamente no que se refere ao planejamento e re-planejamento de atividades. Para tanto, o protótipo implementa técnicas de rede de restrições e heurística para limitar o universo do problema, realizar buscas criteriosas e manter as informações referentes aos procedimentos realizados para concluir as configurações.

Para avaliação do modelo proposto, foram realizadas simulações tanto em laboratório quanto no Centro Cirúrgico do Hospital Universitário comparando os resultados apresentados pelo modelo computacional com parâmetros encontrados no ambiente real do CC. Os resultados das simulações foram bastante satisfatórios comprovando ser possível realizar configurações de planos, otimizando o aproveitamento dos recursos humanos e físicos.

O CC/HU foi escolhido para ser o local de avaliação por ser um ambiente onde é possível encontrar diversas restrições que o tornam ideal. No que se propõe o modelo apresentado os resultados alcançados com os experimentos realizados foram satisfatórios demonstrando que o modelo computacional é perfeitamente possível de ser aplicado em ambientes hospitalares.

Palavras-chave: Workflow; Gerenciamento; Planejamento e Configurações; Rede de Restrições; Manutenção de Contexto.

Abstract

Healthcare has difficulties in manager its shared resources. These can be human, physical or material and it presents limited availability, but, high use demands. Another important point in this sort of environment is the dynamic nature of processes execution. It requires agility in decisions and flexibility management that generally are not contemplated in adequated way. Attitudes can be adopted to minimize the problems, considering the best use of available resources and adequate management processes.

There are consistent technologies to manage workflow and activities controls. The most used model is considered by the WfMC and applied successfully in business-oriented processes. However, dynamic environments have requirements that demand greater flexibility in the activities configuration. Among these necessities that is one saying is important to keep a chronological sequence among activities and maintenance of the produced knowledge by configuration steps so they can be used in future processes.

This work considers a extension to the workflow model presented by the WfMC to be applied in healthcare environments, fitting the behavior showed to characteristics presents to do activities planning and re-planning. For this, the model implements constraints network technical and heuristics to reduce the problems universe, to do oriented searches and to keep configuration steps.

To validate the considered model simulations were done in laboratory and also in the surgery center of University Hospital, comparing the results reached using a computer model with parameters found in surgery center environment. The simulation results were good enough to prove that is possible to realize plans configurations.

The surgery center of University Hospital was chosen to be an evaluation place because it is a dynamic environment. The model was designed to work in this situation and to this goal it had get good results. So the computer model showed that can be used in healthcare environments.

Key-words: Workflow; Management; Planning and Configuration; Constraint Network; Context Maintenance.

1 *Introdução*

Fatores como a limitação de recursos e a priorização de atividades tornam os processos em ambientes hospitalares altamente dinâmicos, difíceis de controlar e de gerenciar. Ambientes dinâmicos são contemplados por diversas variáveis que tem influência direta e instantânea na execução de processos, a cada novo procedimento realizado, um novo estado é aplicado ao ambiente e pode tanto confirmar a viabilidade de ações já planejadas como poderá também cancelar tais ações. Os procedimentos pertencentes às unidades hospitalares, caracterizam-se por não obedecerem a uma seqüência de execução, apesar de existir uma fila de execuções, essa fila não é estática e ocorrem constantes alterações na seqüência de realização das tarefas.

Analisando o exemplo de uma cirurgia eletiva planejada, porém ainda não iniciada, uma série de recursos foram previamente reservados, respeitando-se uma política de regras. Fatores como horários, logística, habilidades dos atores, características dos equipamentos, são levados em consideração pelas regras. Entretanto, próximo ao horário de início da cirurgia eletiva, ocorre uma emergência onde será necessária a utilização desta sala. Caso exista a possibilidade, o procedimento padrão esperado é o cancelamento da cirurgia eletiva, agendamento da cirurgia de emergência para o horário em questão e o agendamento da cirurgia eletiva para um próximo horário disponível. Isto irá acontecer desde que alguns procedimentos não tenham sido iniciados.

Para o controle e gerenciamento de atividades, existem modelos consistentes de controle de *workflow* ou fluxo de trabalho. O modelo mais difundido é proposto pela WfMC¹ (WfMC, 2007), afirmando que o termo *workflow* visa a automação de um processo de negócios. Este modelo aplica-se perfeitamente em modelos de negócios que possuem um fluxo seqüencial de execução e não representam execução em ambientes dinâmicos. Modelos que visam atender execuções em ambientes dinâmicos devem analisar as individualidades de

¹ *Workflow Management Coalition* - Coalisão internacional para a normatização de sistemas de gerenciamento de *workflows*.

cada caso. Neste trabalho será apresentado uma extensão ao modelo proposto pela WfMC para sistemas de *workflow* para ser aplicado em ambientes hospitalares especificamente no que se refere ao planejamento e replanejamento de atividades.

1.1 Definição do problema

O modelo de sistemas de *workflow* proposto pela WfMC, caracteriza-se por ser um modelo utilizado na gerência de processos estáticos, não prevendo mudanças de estados de ambiente. Tal modelo é muito bem aplicado no gerenciamento de processos que não envolvam planejamento dinâmico de atividades como muitos processos empresarias. Este modelo normatiza interfaces de comunicação e organiza os componentes que compõe um sistema de *workflow* genérico, bem como, especifica protocolos em alto nível para serviços comuns. As interfaces de comunicação e modelos de componentes podem ser aplicados a todos os domínios de informação, contudo, em casos específicos é necessário que o modelo seja extendidos para atenderem às necessidades. O gerenciamento de processos em ambientes dinâmicos é uma necessidade que o modelo WfMC não contempla. Sendo assim, é necessário que seja criada uma expansão do modelo para contemplar as particularidades deste domínio de informação.

Desde o momento em que o paciente da entrada na unidade hospitalar até o momento que seu tratamento esteja concluído, muitos processos são iniciados, mantidos e finalizados. Tais processos podem ser, entre outros, procedimentos de consulta, procedimentos clínicos, reserva de leitos, reserva de recursos para exames e procedimentos clínicos, requisições de materiais e troca de informação do paciente entre setores dentro da unidade hospitalar. A inexistência de ações de fatores externos contribui para uma execução simplificada destes processos guiando-os passo a passo à conclusão. Entretanto, em ambientes dinâmicos a ocorrência de ações de fatores externos é uma prática constante e implicam diretamente no resultado final dos processos. Dentre os possíveis fatores externos, pode-se citar a ocorrência de ações emergenciais que não estavam previamente programadas, complicações no quadro clínico de um paciente necessitando a mudança de planos de tratamento, atrasos na utilização de recursos em algum procedimento, indisponibilização de recursos por necessidade de manutenção.

Como um cenário de exemplificação para a visualização de situações que influenciam em ambientes dinâmicos, pode-se analisar uma unidade hospitalar que possua um único

equipamento de tomografia computadorizada. A agenda desse equipamento, por sua vez, é constituída de poucos intervalos ociosos, uma vez que o equipamento, divide-se na realização de exames eletivos e emergênciais. Em um determinado período, o tempo de ocupação desse recurso está bem preenchido com diversos exames sem nenhuma janela de tempo disponível para o encaixe de outro exame. Entretanto, ocorre nesse mesmo período uma emergência onde será necessária a utilização do equipamento de tomografia, por um período, para a realização do exame emergencial. Para realizar o exame será necessário o cancelamento de alguns exames eletivos, que pela incidência desse fator inesperado, não poderão mais serem executados. Conseqüentemente os pacientes de exames eletivos dependem dos resultados dos exames para poderem realizar consultas e prosseguirem em seus tratamentos, que, não poderão mais ocorrer. A alteração na agenda caracteriza um efeito em cascata que irá propagar e influenciar na realização de outros procedimentos, e irá gerar um impacto onde todos os exames que haviam sido agendados e não puderam ser realizados deverão ser reagendados em novas datas.

Do ponto de vista computacional, o modelo deverá ter a possibilidade de representar todos os domínios de informação que uma unidade hospitalar possa disponibilizar. É necessário tornar possível a manutenção de qualquer tipo de informação entre os diversos setores da unidade hospitalar. Essas informações podem ser representadas por um exame radiológico, um laudo, uma informação a ser inserida no prontuário do paciente, uma solicitação para a reserva de um leito, um agendamento de uma procedimento cirúrgico, enfim, qualquer informação que possa ter origem ou destino dentro da unidade hospitalar. O modelo deve ter a possibilidade de executar o controle de agendamentos dos recursos e atores considerando planos previamente estabelecidos e as restrições impostas a esse plano. Através do modelo deve ser possível implementar protótipos ou ferramentas que atendam a todas as necessidades apresentadas pelo ambiente.

1.2 Justificativa

Do ponto de vista científico este trabalho justifica-se pela disseminação e aplicação do conhecimento de técnicas de planejamento e replanejamento na configuração de planos de *workflow* em ambientes dinâmicos. Técnicas de planejamento têm sua utilização difundidas em aplicações clássicas de planejamento de ações em planos sistemáticos. Entretanto, a utilização destas técnicas como opção na configuração de planos de *workflow* sistemáticos não lineares, principalmente os aplicados na resolução de problemas em ambientes

dinâmicos, é pouco difundido pela literatura. Por esta razão, faz-se necessário a combinação de demais técnicas que dêem suporte ao complemento do processo de configuração de planos. O processo de configuração envolvendo ambientes dinâmicos possuem demais necessidades, tais como: aplicação de restrições de dependências temporais na configuração de planos de *workflow* e a manutenção do conhecimento produzido pelos passos de configuração para que possam ser utilizados em processos futuros de retração de configurações.

Pela ótica tecnológica o presente trabalho justifica-se por se tratar de um modelo inovador na resolução de problemas de gerência de processos em ambientes dinâmicos, especificamente, problemas encontrados em ambientes hospitalares. Isto possibilita a aplicação prática do modelo científico produzido para a resolução de problemas reais e comumente encontrados nas unidades de saúde. Os problemas avaliados no modelo científico são contemplados com certo grau de complexidade que dificultam a resolução dos processos de gerência atribuídos às unidades de saúde. O desenvolvimento tecnológico do modelo científico irá retribuir à sociedade o papel social esperado da ciência com a possibilidade de implantação prática. O modelo científico transformado em ferramenta terá o papel fundamental em melhorar o atendimento a pacientes que buscam atendimento nas unidades hospitalares através de uma gerência mais efetiva e de um aperfeiçoado controle sobre os recursos disponíveis, evitando o desperdício funcional de recursos e aplicando procedimentos de otimização nas agendas visando o melhor aproveitamento do recurso.

1.3 Objetivos do trabalho

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver uma extensão ao modelo WfMC de servidores de *workflow* para utilização em ambientes hospitalares.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Utilizar a técnica de rede de restrições e heurísticas para a escolha de recursos;
2. Definir um modelo de dependência temporal entre atividades;

3. Utilizar a manutenção de contexto para configuração e retração manual de configurações de planos;
4. Desenvolvimento de um protótipo de software para validação do modelo.

1.4 Contextualização de ambiente

Um paciente dá entrada na emergência de uma unidade hospitalar vítima de um trauma. Em um primeiro momento, o paciente é atendido pelo médico de plantão que irá fazer a primeira avaliação e irá identificar o grau de gravidade apresentado pelo paciente. Considerando que esse paciente necessite realizar um exame de tomografia computadorizada para confirmar uma suspeita do médico da necessidade de realizar um procedimento cirúrgico. Para realizar este exame e prover laudos sobre a situação do paciente será acionado o setor de radiologia.

Ao mesmo tempo que estes procedimentos estão sendo executados, históricos do paciente estão sendo criados e mantidos documentação. De posse das informações, o médico poderá confirmar sua suspeita e decidir por encaminhar o paciente ao centro cirúrgico ou em prescrever outros tratamentos. Indiferente da decisão tomada pelo profissional, outros processos serão iniciados, novos recursos deverão ser disponibilizados e novas informações dos passos seguidos pelo paciente serão produzidas.

1.4.1 Unidades hospitalares, um ambiente dinâmico

Devido às características de instabilidade de ambiente que envolve as unidades hospitalares, pode-se dizer que estas são caracterizadas por um ambiente dinâmico. Em ambientes hospitalares ocorrem a todo instante diversos fatores que tornam o ambiente constantemente instável. Recursos que estavam disponíveis em um dado momento podem não estar mais disponíveis no momento seguinte, isto ocorre devido a constantes alterações do meio, tais como: necessidade de inclusão de tarefas emergenciais, indisponibilidade de recursos tanto materiais como pessoais, dentre outros.

As características que contribuem para que o ambiente todo se torne dinâmico estão relacionadas ao atendimento a pacientes. De certo modo, a evolução clínica de um paciente não pode ser considerado determinística e, a maioria das vezes, as ocorrências de alteração no ambiente hospitalar estão relacionadas à evolução clínica do paciente.

Através de um acompanhamento médico é possível prever se o paciente poderá evoluir a um quadro clínico positivo ou negativo, entretanto, alguns casos clínicos são difíceis de prever. Considerando uma cirurgia eletiva estética de lipospiração, onde o paciente apresenta condições normais e estáveis. É possível que, durante a cirurgia, o paciente evoluiu para um quadro de reação anafilática e passe a possuir necessidades especiais até então não previstas como ser removido para um centro de tratamento intensivo, acompanhamento por médico cardiologista, dentre outros.

Uma questão que influencia consideravelmente o dinamismo, está relacionada ao atendimento emergencial. Emergências podem ser causadas tanto por fatores internos, que evoluíram para um quadro clínico emergencial, quanto por fatores externos, pacientes que chegam à emergência da unidade hospitalar. Estes últimos são os casos de maior impacto, pois não é possível prever quando uma emergência poderá ocorrer e, como todo procedimento de emergência envolve diversos procedimentos e recursos, a seqüência de procedimentos em quadros emergências são norteadas pela evolução do quadro clínico do paciente e pelo nível de gravidade da situação.

1.4.2 Necessidades encontradas em unidades hospitalares

Unidades hospitalares possuem diversas necessidades que devem ser analisadas e consideradas no planejamento de ações. Como este estudo está direcionado à configuração de ações clínicas em unidades hospitalares, este trabalho restringe-se à avaliação das necessidades de planejamento de ações nestes ambientes. O conjunto dessas necessidades irá compor um plano que tem por objetivo orientar todos os passos de procedimentos clínicos a serem realizados. Basicamente, as necessidades são respostas a perguntas, quais recursos e materiais serão necessários na realização das tarefas, qual a ordem de precedência na execução das tarefas, quais os tempos necessários para execução das atividades, quais são as atividades principais e quais são as atividades secundárias. Recursos podem ser divididos em recursos físicos e recursos humanos. Como recursos físicos pode-se identificar salas de procedimentos, salas de cirurgias, equipamentos de exames radiológicos, ginecológicos, cardiológicos, enfim, todo e qualquer equipamento ou recinto necessário para a execução de um procedimento, desde uma simples sala para troca de roupas a salas de procedimentos cirúrgicos ou equipamentos para procedimentos complexos. Os recursos humanos são contemplados pelo corpo clínico e demais profissionais necessários à execução de procedimentos, como enfermeiros, técnicos, anestesistas, cirurgiões, entre

outros que compõe o recursos humanos.

Existem procedimentos que, para serem realizados, precisam de recursos humanos de diversas especialidades, como por exemplo, um procedimento cirúrgico, que pode necessitar de um médico especialista no procedimento, de médico anestesista, de médico radiologista, do corpo de enfermagem. Além dos recursos humanos, é necessário a utilização de seringas, gazes, medicamentos, soros, entre outros, onde a provisão destes materiais para os procedimentos clínicos é de importância considerável visando um atendimento sem imprevistos. É necessário conhecer a fundo todo o processo que se deseja trabalhar, pois em muitos procedimentos necessitam de recursos para serem executados.

Procedimentos clínicos são compostos por diversas tarefas organizadas na forma de um plano, guiadas em ordem sequencial. A execução segue a linha do tempo e a execução de uma tarefa não pode ser iniciada sem que a anterior esteja concluída, não é possível iniciar um exame de eletrocardiograma sem que o equipamento esteja disponível e apto para o exame. Entretanto, pode ocorrer em um procedimento a execução concomitante com mais de uma tarefa constituindo um processo de execuções paralelas. Por exemplo, ao mesmo tempo em que um determinado paciente está sendo preparado para um exame convencional de tomografia computadorizada, o equipamento de tomografia pode estar em procedimento preparatório, pelo técnico, ficando pronto assim que o paciente estiver preparado. Não obstante, esse processo todo deve obedecer a uma seqüência cronológica temporal de execução, em alguns casos, a realização entre uma e outra tarefa não pode superar um tempo limite nem ocorrer antes de um tempo mínimo. Um exemplo básico desta situação seria a realização de um procedimento cirúrgico onde o paciente foi submetido a uma tarefa de anestesia e dentro de um intervalo de tempo mínimo e máximo, o procedimento cirúrgico deverá ser iniciado.

As atividades podem ser classificadas em principal e secundária, sendo que a atividade principal está relacionada com o objetivo principal do procedimento, enquanto as atividades secundárias são as atividades que dão suporte à realização da principal. Em um procedimento cirúrgico a realização da cirurgia é a tarefa principal, enquanto atividades de preparação de paciente, preparação de ambiente e anestesia são atividades secundárias. Para que a atividade principal possa ser realizada podem existir atividades secundárias que necessitam serem preparadas com antecedência ao horário de realização do procedimento cirúrgico, após a realização da atividade principal ou ainda concomitantes ao procedimento cirúrgico. Analisando computacionalmente, percebe-se nitidamente que procedimentos clínicos não passam de planos hierárquicos bem elaborados que seguem

uma ordem cronológica de acontecimentos. Estes planos têm por base as necessidades analisadas anteriormente, considerando sempre os possíveis caminhos a serem adotados e convergindo para o resultado final do procedimento.

1.4.3 Configuração e re-configuração de procedimentos clínicos

Uma prática constante em ambientes hospitalares, por serem ambientes dinâmicos, é a constante de re-configuração dos procedimentos clínicos. Existem diversos fatores que influenciam diretamente sobre a necessidade de se executar re-configuração. Um procedimento de configuração pode ser entendido como a preparação necessária para realizar a execução de um procedimento clínico. Esta preparação ocorre desde o agendamento do procedimento, com a reserva de recursos físicos e humanos necessários. A re-configuração ocorre quando a configuração inicial, por motivos de indisponibilidade de recursos ou o advento de um atendimento prioritário, não poderá mais ser concretizada. Existe então a necessidade de transferir a execução deste procedimento para outro período. Esta transferência implicará no cancelamento de todas as marcações anteriores relacionadas àquela atividade e na remarcação de todas as tarefas novamente. Todos esses procedimentos de cancelamento de marcação e remarcação caracterizam a re-configuração.

O processo de re-configuração de procedimentos clínicos é, com certeza, o mais trabalhoso de ser realizado, pois envolve muitas mudanças. Em um procedimento de exame tomográfico de acompanhamento em um paciente pós-operatório, subitamente ocorre uma emergência com outro paciente, vítima de trauma, que necessita fazer uma tomografia computadorizada de urgência. Levando em consideração que a unidade hospitalar possui apenas um equipamento de tomografia, o mesmo deverá ser alocado juntamente com toda a equipe médica para a realização do exame de urgência, cujo tempo de duração é desconhecido. Nesta situação, toda a agenda de exames do equipamento estará sujeito a alterações. O paciente que a priori estava com o exame de acompanhamento agendado, sofrerá o primeiro impacto, pois seu exame não poderá ser realizado naquele momento e deverá ser buscado um novo horário para a realização do exame. Considerando que o paciente deveria apresentar o exame em sua próxima consulta de acompanhamento, toda a sequência existente deve ser cancelada e a consulta não deverá ocorrer. É necessário que a data para a consulta também seja remarcada considerando a nova data do exame, dependendo do tempo que o procedimento emergencial decorrer, mais exames na agenda deverão ser afetados necessitando de remarcações. Assim é possível verificar que existe

uma reação em cascata onde a não realização de um procedimento acarreta na invalidação de outro. Mesmo em exemplos simplificados é possível verificar a complexidade e a frequência com que estes casos podem ocorrer dentro das unidades hospitalares.

Além dos procedimentos emergenciais, outros fatores podem tornar recursos indisponíveis, alguns fatores representam um impacto maior e outros um impacto menor, sendo que, o grau de impacto está diretamente relacionado à importância que a atividade exerce no procedimento clínico, bem como a importância que o objeto causador do impacto exerce dentro da atividade. Se, em um procedimento cirúrgico, um técnico que estava programado para fazer a preparação inicial do paciente, por algum motivo, não pôde estar presente, não existe a necessidade de remarcar todo o procedimento cirúrgico, basta remarcar as atividades que estavam programadas para aquele profissional e redistribuí-las a outros profissionais. Entretanto, considerando o mesmo exemplo, se o cirurgião que iria realizar a cirurgia não pôde comparecer, existe a possibilidade do procedimento ser reprogramado uma vez que esse ator exerce papel principal dentro de uma atividade principal. Outra possibilidade para este caso seria a substituição do cirurgião e este procedimento acarretaria na reprogramação da agenda deste outro profissional durante o período do procedimento cirúrgico.

1.4.4 Otimização individual

Tão importante quanto configurar e reconfigurar os procedimentos clínicos é realizar esse planejamento de forma otimizada. A otimização garante um melhor aproveitamento tanto dos recursos humanos quanto dos recursos físicos. A otimização bem elaborada permite uma distribuição uniforme entre os recursos ao mesmo tempo em que se pode considerar as qualificações dos recursos evitando o desperdício de habilidades e de tempo ocioso. Em unidades hospitalares a otimização pode se dar em dois domínios distintos: pela distribuição homogênea de tarefas e pela distribuição considerando o perfil de habilidades de cada recurso. No primeiro caso, a distribuição se dá através da divisão de tarefas entre os recursos disponíveis com perfis compatíveis, isto permite que um recurso não fique com sua agenda mais sobrecarregada que outro. Entretanto, esse domínio não é eficiente quanto a divisão de tarefas pelas características inerentes ao recurso, considerando uma unidade hospitalar que possua dois equipamentos para ultrassonografia onde um deles possui a funcionalidade de *Color Doppler*. Sequencialmente foram agendados três exames *morfológicos fetais* e um exame de *Doppler Vascular*. O resultado como agenda obtida

por esse método seria uma divisão equitativo de dois exames para cada equipamento. No caso do equipamento com *Color Doppler*, esse seria utilizado para um exame morfológico fetal, mesmo que a funcionalidade de *Color Doppler* não fosse necessária para o exame morfológico fetal. Este tipo de situação passa a ser problema quando se têm diversos procedimentos de baixa prioridade distribuídos igualmente entre recursos que poderiam estar disponíveis para a realização de procedimentos com uma grande prioridade.

O segundo caso considera as características de habilidades individuais de cada recurso e distribui as tarefas fundamentado nas características mínimas necessárias. Este processo tem a desvantagem de sobrecarregar recursos considerados mais aptos para a realização da atividade. O nível de aptidão é determinado pelas características que cada recurso possui, comparando as características necessárias para a realização do procedimento clínico e as características que os recursos possuem. O recurso que obtiver o menor número de características, desde que essas características atendam as mínimas necessárias, será considerado mais apto. Considerando uma clínica radiológica onde possui dois médicos radiologistas com especializações distintas para laudar exames, um dos médicos radiologistas possui especialização em radiologia neurológica. Obviamente, exames de caráter neurológicos deverão ser atribuídos ao médico com tal especialidade. Considerando que estes exames possuem uma demanda menor, logo, a agenda deste médico ficaria ociosa, enquanto a agenda do outro médico estaria sobrecarregada como os demais exames. Isto ocorre devido ao fato de o médico sem especialidade neurológica ser considerado mais apto para muitos exames.

Evidentemente, a utilização independente de cada um destes dois métodos não é a melhor solução, para se obter uma otimização razoável é necessário mesclar as duas técnicas. Em um primeiro momento, consideram-se as características individuais de cada recurso, obtendo todos os recursos que possam ser considerados satisfatórios. Em um segundo momento, avalia-se a distribuição das tarefas entre os recursos considerados aptos. Por fim, designa o recurso com maior ociosidade e que seja considerado o mais apto. Com a utilização destes dois métodos pode-se obter uma distribuição individual otimizada e satisfatória dos recursos.

1.4.5 Otimização de recursos no ambiente

Até o momento, foram avaliadas situações de otimizações de recursos individuais sem ter sido considerado o ambiente como um todo. Em ambientes hospitalares muitos pa-

cientes estão concorrendo constantemente por diversos recursos e toda essa concorrência, aliada ao dinamismo do ambiente, contribui para uma elevada complexidade no controle das agendas dos recursos, pois novas variáveis são acrescidas ao problema a todo instante. Recursos humanos possuem horários de disponibilidades diferenciados uns dos outros, um determinado procedimento clínico, poderá depender de profissionais que estão disponíveis em horários diferenciados. Recursos físicos são influenciados por manutenções e dependem dos recursos humanos para serem operados, já procedimentos clínicos envolvem sempre mais de um recurso que nem sempre estão disponíveis exatamente todos no mesmo intervalo de tempo. Cada recurso possui sua agenda individual com suas tarefas agendadas e seus tempos livres. Conseguir organizar a agenda de todos os recursos no mesmo período de tempo com o menor número de janelas de tempo ocioso é um grande desafio.

1.5 Trabalhos correlatos

Esta seção apresenta trabalhos correlatos a este que serviram de base para a sua elaboração e enfocam o tema do ponto de vista de gerenciamento de processos. A grande maioria destes trabalhos são focados em sistemas de *workflow* para manufatura ou gerenciamento automatizado de documentos. Contudo, as técnicas utilizadas nestes seguimentos podem ser muito bem aproveitadas ambientes hospitalares.

Georgakopoulos, como um dos grandes pesquisadores desta área, trabalhou com *workflow* aplicando conceitos de transações permitindo o agendamento cronológico com dependência temporal (GEORGAKOPOULOS et al., 1993). Baseado neste contexto ele propôs um modelo para levantamento, execução e gerência de *workflows*. Este modelo contemplava desde a definição tecnológica até a infra-estrutura proposta para suportar workflows baseados em transação.

Tombros e seu grupo de pesquisas desenvolveram um trabalho bastante abrangente e interessante. Eles trabalharam com conceitos de modelagem e gerenciamento de *workflows* com acionamento por eventos (GEPPELT; KRADOLFER; TOMBROS, 1998) e com a utilização de brockers e services (TOMBROS; GEPPELT; DITTRICH, 1997). Alguns dos trabalhos propostos, cujo grande foco é o comércio eletrônico, apresentam os conceitos com base em sistemas distribuídos (TOMBROS; GEPPELT; DITTRICH, 1996).

Aplicadas na conceituação e modelagem tem-se as pesquisas de Casati que concentra seus trabalhos em análises, simbologias e modelos para a representação de *workflows*

(CASATI et al., 1996). Ele se ocupa ainda com a carga de trabalho, sua distribuição e balanceamento em sistemas de *workflow* (JIN et al., 2001). Propõe ainda mecanismos para autenticação e regulação de *workflow* baseado em *triggers* e *spatterns* (CASATI et al., 2000).

O trabalho apresentado por Heiman é uma solução apresentada para o gerenciamento de desenvolvimento de *softwares* e manutenção de processos (HEIMANN et al., 1996). Os autores apresentam um formalismo baseado na metodologia de modelagem de sistemas computacionais baseada em gramática de grafos, ou simplesmente, paradigma baseado em redes. Esta solução utiliza como base o ambiente PROGRES² com a extensão proposta por Andy Schiirr em (SCHIIRR, 1994). Os autores propuseram esse modelo para o gerenciamento de redes de tarefas que possuem vários aspectos de processos dinâmicos incluindo evolução estrutural, retorno de informação (*feedbacks*) e concorrência.

Esse trabalho apresenta o resultado de uma pesquisa realizada para o controle de *workflows* em clínicas médicas. O problema apresentado no artigo é fortemente correlacionado com este trabalho, principalmente ao que refere-se ao forte dinamismo e constante alteração em estado de ambiente. A solução proposta pelos autores consiste de um sistema de informação orientado a processos que utiliza grafos de transformação de regras e grafos de redução de regras para realizar as transformações necessárias. Sempre que ocorrem mudanças no estado no ambiente o sistema se encarrega de atualizar os grafos e realizar as alterações e atualizações necessárias (DADAM; REICHERT; KUHN, 1997).

Alguns outros trabalhos como os de Faber (FABER et al., 2001), Joosten (JOOSTEN; PURAO, 2002) e Kappel (KAPPEL; RAUSCH-SCHOTT; RETSCHITZEGGER, 1996) fornecem contribuições quanto à definição de formas de modelagem, alocação de atividades, automatização da execução e coordenação em sistemas de *workflow*. Alguns outros trabalhos mostram ainda propostas de gerenciamento de processos baseado em agentes inteligentes (HANNEBAEUR, 1999), encadeamento de processos por eventos com base em ontologia (BLAKE, 2003) até a utilização de grafos conceituais para modelagem organizacional em gerenciamento de *workflow* (KLARMANN, 2001).

1.6 Metodologia

- Utilizar a técnica de rede de restrições e heurísticas para a escolha de recursos;

² Conjunto de ferramentas para a manipulação e execução de sistemas de transformação de grafos programados.

Avaliação de técnicas de redes de restrições como solução para a redução do universo do problema na atribuição de valores para o processo de configuração. Com base na avaliação definir um modelo básico de procedimento para configuração de planos de *workflows*, considerando restrições básicas. Implementação no protótipo do procedimento de configuração básico e da técnica de restrição para redução do universo do problema definida no modelo.

- Definir um modelo de dependência temporal entre atividades;

Definição de regras de aprimoramento ao modelo de redes de restrições para o controle de dependência temporal na configuração de atividades. Isto é necessário para que sejam configuradas corretamente, considerando a necessidade de serem executadas dentro de uma proximidade temporal. Considerando a avaliação realizada, definir um procedimento completo para a configuração de planos contemplando a rede de restrições completa, incluindo o problema de dependência temporal. Implementação no protótipo do procedimento de configuração contemplando a rede de restrições completa e dependência temporal.

- Utilizar a manutenção de contexto para configuração e retração manual de configurações de planos;

Avaliação de técnicas para a manutenção de contexto como ferramentas de suporte aos procedimentos de retração manual de planos. Considerando as técnicas avaliadas, definir um modelo de manutenção da verdade em contexto para dar suporte aos procedimentos de retração de planos. Implementação no protótipo da manutenção do contexto definido no modelo utilizando a técnica escolhida.

1.7 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos distribuídos em introdução, fundamentação teórica, materiais e métodos, resultados e considerações finais.

- Capítulo 1 - Introdução

Este capítulo apresenta a definição do problema, justificativas, objetivos, contextualização de ambiente, trabalhos correlatos e metodologia. A seção definição do problema apresenta uma descrição do problema que será abordado neste trabalho, bem como a contextualização do problema apresenta uma série de situações vivenciadas dentro de unidades hospitalares. A seção trabalhos correlatos apresenta em um resumo uma diversidade de trabalhos relacionados ao tema disponibilizando uma breve discussão sobre as tecnologias utilizadas atualmente neste âmbito. Por fim, é apresentado na seção metodologia a forma como será tratado o desenvolvimento do trabalho para atingir os objetivos específicos delineados no início do trabalho.

- Capítulo 2 - Revisão de Literatura

Neste capítulo é disponibilizada a teoria básica necessária que aborda o escopo do trabalho. A tecnologia de *workflow* é apresentada assim como as técnicas de configuração, planejamento e raciocínio, advindas da inteligência artificial. Em todas as seções, referências são indicadas para uma possível necessidade de aprofundamento em qualquer que seja o assunto apresentado.

- Capítulo 3 - Materiais e Métodos

Este capítulo apresenta, detalhadamente, todos os passos seguidos na elaboração da solução para o problema proposto. Aqui são apresentadas as descrições para a configuração das atividades, controles de dependências temporais, manutenção de contexto e re-configuração de atividades. Também são apresentados os modelos elaborados para a realização dos experimentos com vistas a comprovar a funcionalidade do modelo proposto.

- Capítulo 4 - Resultados

Este espaço aborda os resultados alcançados através dos experimentos elaborados e apresentados no capítulo de materiais e métodos. Discussões sobre os resultados também serão disponibilizados nesta seção.

- Capítulo 5 - Considerações Finais

Apresenta as considerações finais sobre o trabalho dando ênfase aos objetivos alcançados, avaliações sobre o desenvolvimento e validação do trabalho e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do mesmo. Em uma seção específica serão apresentados os trabalhos futuros que darão complementação a esta pesquisa.

Além dos capítulos apresentados, estão disponíveis no final do trabalho apêndices com materiais técnicos desenvolvidos, diagramas de procedimentos e trabalhos publicados sobre a pesquisa. Durante o texto é feita referência a estes apêndices que disponibilizam protocolos de comunicação, estrutura de mensagens, dentre outros.

2 *Fundamentação Teórica*

Neste capítulo será apresentado toda a fundamentação teórica que dá embasamento às técnicas utilizadas no modelo apresentado para a resolução do problema. As técnicas fundamentadas referem-se a redes de restrições, configuração e planejamento, manutenção de contexto e dependência temporal, assim como, conceituação sobre *workflow*.

2.0.1 Workflow Management Coalition - (WfMC)

A WfMC é uma organização Internacional, sem fins lucrativos, de fornecedores, usuários, analistas e grupos universitários de pesquisa em workflow. Fundada em Agosto de 1993, possui hoje mais de 300 membros, espalhados pelo mundo (WfMC, 2007). Esta organização tem como missão promover e desenvolver o uso de workflow através do estabelecimento de padrões de software quanto à terminologia, interoperabilidade e conectividade entre produtos. As interfaces padronizadas pela WfMC são mostradas na figura 1.

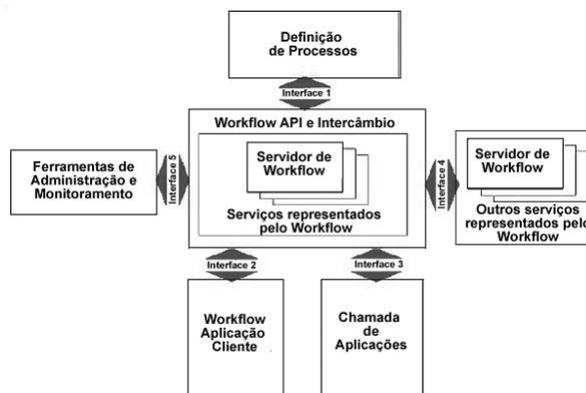


Figura 1: Interfaces padronizadas pela WfMC

O desenvolvimento destas interfaces é distribuído entre três grupos. O primeiro grupo tem como função definir as padronizações da organização quanto a modelo de referência

e glossário (vocabulário específico). Especificam as estruturas de sistemas de *workflow*, identificando características, funções e interfaces, além de desenvolverem padrões de terminologia para *workflow*.

Os grupos são responsáveis pelo desenvolvimento das cinco interfaces, as quais segue:

- Interface 1 - Ferramenta para definição de processos

Definição de uma interface padrão entre a definição de processos de modeladores e os servidores de *workflow*. Esta interface define um meta-model mínimo que descreve os principais objetos a serem utilizados para definições de processos, seus relacionamentos e atributos. Identifica as entidades comuns a processos e descreve sua semântica de uso que prove uma linguagem formal para definição e intercambio das definições de processos utilizando objetos e atributos definidos no meta-model. APIs para garantir a manipulação dos atributos de cada entidade das definições de processos. Estas APIs são definidas na especificação das aplicações clientes.

- Interface 2 - Aplicação cliente de *workflow*

Este grupo pesquisa e propõe uma definição de APIs para aplicações clientes que possibilitem interação com servidores de *workflow*. Através desta interface, ferramentas clientes podem interagir com diferentes servidores de *workflow*.

- Interface 3 - Chamada externa de aplicações

Este grupo trabalha para prover um padrão de interface entre APIs que permita a uma workflow engine chamar diretamente uma variedade de aplicações, através de um agente de software comum. Através destas interfaces padronizadas os servidores de *workflow* podem invocar aplicações externas utilizando ferramentas como DDE, OLE e CORBA.

- Interface 4 - Interoperabilidade entre *workflows*

O grupo de pesquisa responsável por esta interface, busca padronizar as definições de interoperabilidade entre diferentes modelos de workflow engines e os atributos e métodos correspondentes a estas para suportar o intercâmbio de processos.

- Interface 5 - Ferramentas de monitoração e administração

Busca definir e padronizar as funções de monitoramento e controle dos *workflows*, especificando as informações que devem ser coletadas e armazenadas dos vários eventos ocorrendo durante o processamento dos workflows.

2.1 Configuração e planejamento

Este capítulo apresenta as técnicas de configuração e planejamento de sistemas de gerenciamento de *workflow*. Sistemas de gerenciamento de *workflow* devem ter a capacidade de, com base em um planejamento representado pelos modelos de processo, fazer a alocação dos recursos que melhor atendam à necessidade (PLESUMS, 2002).

Para proceder em uma solução computacional de um problema do mundo real, é necessário que seja realizada uma abstração do mesmo, transformando este problema em algo específico, é possível reduzir a complexidade, tornando viável uma solução computacional (RUSSEL; NORVING, 1995). De outra forma, a solução não seria possível em função do infinito número de variáveis, regras e possíveis estados comuns ao ambiente natural.

No contexto de gerenciamento de processos, os problemas podem ser abstraídos e representados através das técnicas de planejamento e configuração. Nestes problemas, geralmente, se busca a organização do trabalho em passos bem definidos e a distribuição racional de recursos, materiais e profissionais (GÜNTER, 1992).

Para a representação do conhecimento e a conseqüente delimitação do problema, podem ser utilizados os conceitos de planejamento. A principal vantagem desta técnica é simplificar e restringir a um universo específico o escopo do problema. Configuração é uma técnica englobada no conceito de planejamento que aplicada aos problemas representados por este, procede à sua adequação ao ambiente (GÜNTER, 1992).

Considerando que soluções computacionais inteligentes para problemas humanos comuns, consistem em uma tarefa não trivial, o emprego de técnicas de planejamento e con-

figuração representa uma alternativa viável e muito utilizada (RUSSEL; NORVING, 1995).

2.1.1 Conceituação

Solucionar um problema compreende desenvolver uma seqüência de procedimentos que levem a atingir uma determinada meta. Todavia, para que a meta seja plenamente atingida, os procedimentos precisam ser planejados. Planejar é o ato de decidir o correto curso de uma ação antes de executá-la. A representação do modelo de forma concisa e detalhada gera o plano de ação e consiste em uma seqüência de operadores, os quais levam ao alcance das metas propostas (WELLMAN; DOYLE, 1992).

As técnicas de planejamento e configuração se caracterizam por propiciar a criação de estratégias para a solução de problemas. Elas prevêm os estados futuros do problema, objetivando mapear possíveis seqüências de procedimentos para o alcance da meta pretendida. Os benefícios do emprego destas técnicas são inúmeros. Entre eles destacam-se três que são de fundamental importância (RUSSEL; NORVING, 1995):

- Menor tempo de processamento para a realização da tarefa;
- Eliminação de conflitos entre procedimentos;
- Possibilidade de caminhos alternativos e ou backtracking.

Porém, existem problemas que podem assumir várias possíveis seqüências de procedimentos como solução. A escolha de uma ou outra seqüência de procedimentos é dependente do estado do ambiente de aplicação no momento da decisão. Assim, para que se decida pela melhor seqüência, é necessário avaliar todas as possíveis descartando as irrelevantes, até encontrar a mais adequada. Este mecanismo de seleção da melhor opção, com base em uma lista de parâmetros, dentro de um conjunto de possibilidades é implementado através das técnicas de configuração (BARRETT; WELD, 1992).

As principais características das técnicas de configuração são as buscas sucessivas a uma base de conhecimento extensa, porém finita e bem definida. Com isto busca identificar as características de cada elemento constante no universo do problema (RICHTER; WESS, 1991). Através da aplicação de um conjunto de regras lógicas sobre estas informações é eleito, então, o elemento que melhor atende à necessidade em uma dada situação. O processo de configuração pode ser visto e entendido, de forma lógica, como um procedimento

recursivo. Sua condição de parada é o momento em que, no estado final, todos os requisitos são satisfeitos. A figura 2 representa graficamente o fluxograma do procedimento.



Figura 2: Algoritmo de configuração

2.1.2 Tipos de planejamento

Planejamento é um conceito que, devido ao longo tempo de utilização, tem apresentado uma natural evolução. Com isto, um grande número de técnicas e ferramentas foram desenvolvidas agregando novas versões às definições originais e novas variáveis aos modelos propostos. Os modelos podem ser subdivididos em classes quanto à forma de organização e quanto à linearidade da execução, como:

Quanto à organização:

- Sistemas de planejamento hierárquico, e;
- Sistemas de planejamento não-hierárquico.

Quanto à linearidade da execução:

- Sistemas lineares, e;
- Sistemas não-lineares;

2.1.3 Planejamento hierárquico

Estes modelos se caracterizam por propiciar um planejamento das ações para a consecução das metas com base em um crescente nível de refinamento, como em uma hierarquia. Com isto, o plano de ação resultante se apresenta estruturado como uma árvore. Cada nodo dentro desta árvore representa uma meta podendo conter em si outras metas mais específicas, representando uma especialização do problema. (RUSSEL; NORVING, 1995).

Por exemplo, uma meta: {Atendimento (Paciente)}, pode ser decomposta em outras metas mais específicas, que representariam os passos para este processo assim: {Admissão (Paciente); Consulta (Paciente); Diagnóstico (Doença); Prognóstico (Doença)}. O procedimento Admissão (Paciente) pode derivar as metas {Cadastro (Paciente); Pré_avaliação (Paciente)}. O procedimento Pré_avaliação (Paciente) poderia, ainda ser decomposto em {Pesar (Paciente); Medir_pressão (Paciente); Medir_febre (Paciente)} e assim sucessivamente, em um constante processo de refinamento até um detalhamento suficiente para representar uma solução plausível.

Este modelo permite abstrair passos não relevantes em um dado momento objetivando prover uma visão geral do problema. Ele simplifica o processo de busca e raciocínio através da representação de tarefas mais vagas. Para isto, não precisa percorrer cada uma das metas específicas a serem alcançadas no problema.

2.1.4 Planejamento não-hierárquico

Este modelo não faz uma distinção entre metas de alto nível e metas específicas, ou seja, não há o conceito de derivação (especialização) de tarefas. Nele, todas as metas a alcançar são definidas como as mais específicas possíveis. O modelo é pouco usado atualmente, em função de uma série de desvantagens advindas do fato de não haver essa relação de hierarquia e de não ser possível abstrair partes irrelevantes quando conveniente (RUSSEL; NORVING, 1995).

2.1.5 Planejamento linear

Linearidade, no contexto de planejamento, significa a não-existência de múltiplas seqüências de tarefas em um mesmo processo. Desta forma as ações contidas em plane-

jamentos lineares têm entre si uma forte relação de sincronia temporal. Duas ou mais ações nunca são planejadas para uma execução simultânea. A execução de uma tarefa é condicionada ao término da anterior e assim sucessivamente.

Neste modelo a realização das metas é atingida através de uma única seqüência de processamento, caracterizada pela ausência de quaisquer bifurcações ou execução paralela de tarefas. Com isto evita-se a necessidade de qualquer tomada de decisão no momento de processamento (FIKES; NILSSON, 1971).

2.1.6 Planejamento não-linear

Contrários ao planejamento linear, os sistemas de planejamento não-linear admitem as metas sejam alcançadas através de um ou mais caminhos de execução, simultâneos ou não. Como resultado disto, as atividades destes processos podem apresentar diferentes tipos de dependência temporal. Em alguns momentos devem ser executadas em seqüência em outras em paralelo. A grande vantagem está na possibilidade de uma execução de maneira assíncrona, possibilitando a representação mais ampla e realista dos processos (RUSSEL; NORVING, 1995).

2.2 Manutenção de contexto

Manutenção do contexto tem o objetivo de manter uma validação da razão para o contexto nas escolhas e rejeições. Um conjunto de valores para escolha em planos de configuração de agendamentos constitui um contexto para a solução de problemas onde cada nova configuração define um novo contexto. Contexto pode ser considerado uma *rede de satisfação de restrições*¹, onde a rede possui um conjunto de variáveis e cada variável contém um domínio de possíveis valores (ROSSI; PETRIE; DHAR, 1990). Um conjunto de soluções para uma rede CSP são conjuntos de tuplas com valores para todas as variáveis que são consistentes em conjuntos de tuplas para todas as definições de restrições (KUMAR, 1992a).

Petrie em (PETRIE, 1991b) apresenta um exemplo de contexto mostrado na figura 3, onde a variável V1 foi assinalada com o valor a, a variável V2 com o valor c e V3 foi escolhida como variável para assinalar o próximo, mas não foi assinalado valor ainda.

¹ Também são conhecidas como *Constraint Satisfaction Problem* (CSP)

Esse problema de agendamento requer somente um simples conjunto de elementos e possui uma heurística local para sugerir variáveis e valores de escolhas para a solução. Técnicas de geração e testes utilizando rede de dependências orientada por retrocesso, são técnicas apropriadas para a resolução de problemas de agendamentos (PETRIE, 1991b).

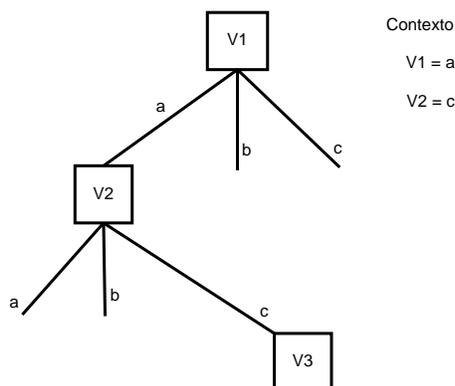


Figura 3: Contexto apresentado por Petrie em (PETRIE, 1991b)

2.3 Sistema de manutenção da verdade (TMS)

Segundo Doyle (DOYLE, 1979), TMS é uma técnica de inteligência artificial que oferece meios de representação do processo de raciocínio na solução computacional de problemas do mundo real. Seus princípios se baseiam no fato de que o processo de raciocínio se desenvolve de forma a ter um conjunto de justificativas que corroborem a decisão. Implementada através de procedimentos de busca que mapeiam o processo de raciocínio em um problema lógico. Esta técnica oferece um modelo para a aplicação do planejamento tomando cada decisão em função de suas razões. Neste contexto procede a necessária alteração da decisão quando qualquer uma destas razões forem alteradas (DOYLE, 1979).

De acordo com McAllister (MCALLESTER, 1990), as técnicas de TMS podem oferecer uma solução viável para a necessidade de justificativas a uma determinada decisão. Ela permite também o retorno no fluxo de atividades (*backtracking*) fazendo a propagação de alterações e possibilitando assim, num contexto de *workflow*, possíveis re-aloções. As principais vantagens de um sistema de planejamento utilizando TMS são:

- Manutenção do caminho de dependência entre ações e variáveis, o que permite o retorno (*backtracking*) cronológico ou por dependência;

- Propagação das novas entradas por todo o contexto de planejamento já estabelecido, através das dependências;
- Possibilidade de fácil localização de toda e qualquer causa de inconsistência.

2.3.1 Representação

Existem diferentes formas de apresentação de um sistema de TMS, a escolhida para o âmbito deste trabalho representa o status de cada passo do processo em função de suas razões positivas e ou negativas. Cada decisão, ou ação, dentro deste modelo, é representada por duas listas de justificativas. A primeira lista, denominada *in-list*, registra as pré-condições que devem ser atendidas para a liberação da ação planejada. A segunda lista, denominada *out-list*, registra as situações que, se ocorrerem, irão cancelar a ação planejada (DOYLE, 1979).

2.3.2 Aplicação

Geralmente o conceito de TMS é utilizado para manter a integridade lógica de conclusões e decisões em sistemas de inferência (MCALLESTER, 1990). No contexto de planejamento, como solução de problemas, existem três possíveis cenários:

- Planejamento Estático: Todo contexto é previamente definido e configurado e nunca muda;
- Planejamento Monotônico: Tem um planejamento coerente e embora não permita alterações das ações já configuradas permite a adição de novas ações, portanto, as mudanças ocorrem, mas não afetam o contexto inicial;
- Planejamento não-Monotônico: Permitem a alteração dinâmica das ações e oferecem a possibilidade de invalidar resultados prévios. As mudanças posteriores podem alterar decisões prévias.

Os dois primeiros cenários não requerem um sistema de manutenção da verdade para garantir a sua coerência. Já o terceiro caso, que é o mais próximo das situações de planejamento real, por sua característica dinâmica, carece de um sistema de controle específico para o gerenciamento. Um modelo de planejamento suportado por técnicas

de TMS é adequado para este contexto, pois permite tratar as mudanças dinâmicas do cenário através da propagação e ou *backtracking*. Possibilita, também, através destes mesmos mecanismos, a localização das causas de qualquer alteração ou problema.

2.3.3 Tipos de TMS

Os conceitos de TMS são aplicados de diversas maneiras (MCALLESTER, 1990), tais como:

2.3.3.1 Sistema de manutenção da verdade baseada em propagação de restrições booleanas (BCP)

É a implementação base para os sistemas de manutenção da verdade. Permite a propagação dos valores *booleanos* através dos eventos encadeados. Através deste mecanismo o status de um evento em qualquer ponto da cadeia de eventos irá sempre representar a verdade em relação a suas pré-condições e restrições. Qualquer mudança em um evento prévio será automaticamente percebida.

2.3.3.2 Sistema de manutenção da verdade baseada em suposições (ATMS)

Trabalha com a previsão ou suposição de vários possíveis cenários para uma mesma situação (diferentes conjuntos de valores *booleanos* para suas variáveis). Em cima destes possíveis cenários é aplicado o conceito de TMS. O significado de cada cenário não é levado em conta. Em função do seu alto tempo de processamento, esta implementação só é interessante para solução de problemas muito específicos.

2.3.3.3 Sistema de manutenção da verdade baseada em Justificativas (TMS)

Assim como o ATMS, a implementação de JTMS também trabalha com a previsão de cenários e não leva em conta o significado de cada cenário. A diferença é que nesta modalidade busca-se oferecer justificativas a cada decisão permitindo a consulta do conjunto de variáveis que implicam em determinada escolha. Esta forma de implementação é a que melhor atendeu às necessidades deste trabalho permitindo basear as decisões em

um conjunto de variáveis e perceber a modificação sempre que qualquer das variáveis é alterada. A figura 4, representa o modelo de TMS proposto por Petrie em (PETRIE, 1991b), para manutenção de contexto apresentado no projeto REDUX.

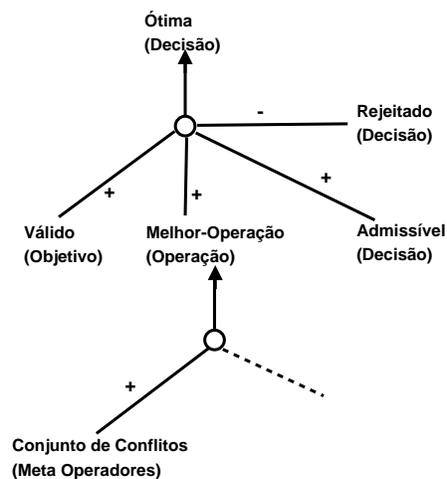


Figura 4: TMS como manutenção de contexto apresentado por Petrie em (PETRIE, 1991b)

3 *Materiais e Métodos*

Neste capítulo será apresentado o modelo da solução proposta para a expansão ao padrão WfMC (WfMC, 2007) de servidor de *workflow* para ambientes hospitalares. O servidor de *workflow* é o escopo geral do modelo e possui funções primárias de suporte e disponibilização de recursos aos clientes. O servidor é a base para os demais procedimentos que envolvem o gerenciamento e a configuração de planos de *workflow*.

A estrutura do servidor está projetada em camadas, sendo cada uma responsável por uma etapa do processo. As camadas de *protocolo de comunicação, apresentação de dados e mensagens de serviços* são responsáveis por prover meio de comunicação com os clientes, receber os dados, fazer verificações de consistência e prepará-los para serem enviados às camadas de processamento. A camada de *máquina de inferência* é responsável por gerenciar os procedimentos internos do servidor delegando os trabalhos aos módulos específicos a cada necessidade. Já a camada de *configuração* é o módulo responsável pelos procedimentos de configuração dos planos de *workflow*, controle de dependência temporal nas configurações e manutenção de contexto. A figura 5 representa graficamente o modelo de servidor de *workflow* em camadas.

O modelo apresenta um conjunto de regras para a comunicação e estruturação da mensagem definindo os serviços básicos de conexão, transferência de dados e serviços de *workflow*. A mensagem é recebida pelo servidor, decodificada, interpretada e destinada à execução dos procedimentos. A estrutura da mensagem e a comunicação com o servidor devem respeitar o protocolo pré-estabelecido (o protocolo está apresentado em detalhes no apêndice B). Concluído o processo de verificação e interpretação da mensagem recebida, os dados obtidos são repassados à máquina de inferência do servidor para que seja executado o processamento. A máquina de inferência possui a função de gerência sobre a execução dos procedimentos delegando esta função aos módulos responsáveis. É característico deste módulo definir critérios para a execução dos procedimentos, bem como, garantir a ordem de execução e verificações de dependências (RIBEIRO; ANDRADE; WANGENHEIM, 2005).

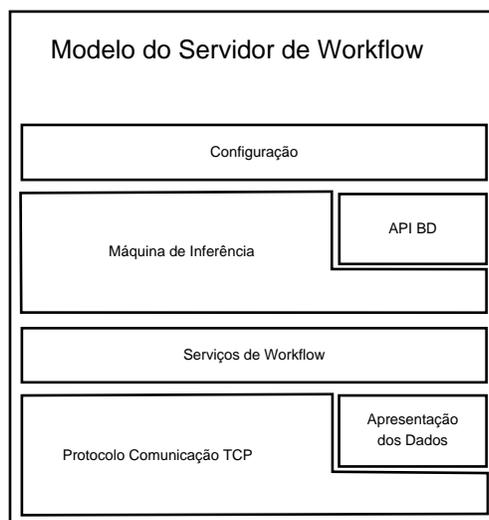


Figura 5: Modelo do servidor de *workflow*

3.1 Processo de configuração de atividades

Ao processo de seleção dos recursos necessários para a execução das atividades pode-se dar o nome de configuração. O processo de configuração depende de fatores relativos ao estado corrente do universo do problema. Para que seja definida a melhor seqüência de ações possível, é necessário que sejam avaliadas todas as características de cada uma das possibilidades. Esta escolha parametrizada do elemento apropriado dentre um conjunto de vários possíveis é desempenhada através de um mecanismo de configuração (PETRIE, 1987) e (PETRIE, 1990).

As técnicas de configuração caracterizam-se por buscas sucessivas a uma base de conhecimento extensa, porém finita e estruturalmente bem definida acerca de cada elemento constante no universo do problema. Cada um destes elementos possui um conjunto de atributos que são comparados a um conjunto de requisitos. Com o auxílio de heurísticas, é possível eleger o elemento que melhor atende à necessidade em dada situação (PETRIE, 1991a).

3.1.1 Aplicação de heurísticas no processo de configuração

O processo de configuração envolve buscas em variáveis, cujo conteúdo, influenciam diretamente no resultado das escolhas para a configuração. As heurísticas, auxiliam no processo reduzindo a extensão da base de conhecimento e otimizando a configuração.

Conceitualmente, heurística pode ser entendido o modelo de um conjunto de regras inter-relacionadas que definem como será definido a escolha de valores válidos a serem aplicados (KNOBLOCK et al., 2001). Dentro do modelo, o processo de configuração é efetivado através de uma sucessão de buscas na base de conhecimento e a aplicação de heurísticas auxilia na escolha dos recursos que melhor se enquadram às necessidades apresentadas (KUMAR, 1992b) (FOX; SADEH; BAYKAN, 1989).

No modelo foi definido como uma primeira regra à heurística, escolhas por recursos que possuam o menor número de características necessárias para atender a demanda. Os recursos são compostos por características que determinam seu grau de relevância. Contudo, a regra de associação que garante sempre o recurso com o menor custo nem sempre é a melhor opção pois poderá, eventualmente, sobrecarregar recursos menos relevantes e deixar ociosos recursos com maior grau de relevância. Para otimizar a distribuição de carga entre os recursos e evitar a ociosidade, aplica-se uma segunda regra que distribui a carga entre os recursos, garantindo uma distribuição apropriada sem sobrecarregar os recursos.

Analisando um cenário, onde se tem a situação de um exame radiológico com utilização de contraste e existem riscos de ocorrência de reações alérgicas, por segurança, a execução desse exame demanda a utilização de um equipamento para reanimação cardiovascular. O médico executor, além de ser especialista em radiologia, deverá dispor de experiência no tratamento de uma possível reação anafilática. As variáveis a serem avaliadas, estão relacionadas à escolha de recursos, que possam suprir as condições para garantir a plena satisfação das necessidades. Entretanto, é necessário garantir que não ocorra desperdício de recursos, por esta razão, a primeira regra a ser aplicada define a otimização dos recursos, evitando a sua falta e limitando o seu excesso.

O modelo, como uma primeira ação (etapa 1), deverá efetuar uma busca por aparelhos de raios-X e equipamentos de reanimação cardiovascular disponíveis, bem como, selecionar dentre todos os médicos radiologistas, aqueles que possuem experiência no tratamento emergencial de reações anafiláticas ao contraste. Após selecionar, embora sem critérios mais específicos, para cada perfil requerido, todos os recursos correspondentes, o modelo parte para sua segunda etapa. Na etapa 2, o modelo consiste em um laço recursivo que se divide em outras duas partes. Na etapa 2.1, são selecionados do conjunto somente os recursos disponíveis para alocação durante o período de execução da atividade. Este procedimento gera um conjunto possivelmente reduzido, descartando os recursos aptos, porém indisponíveis. Na etapa 2.2, aplica-se o critério de decisão, que consiste em escolher,

para cada perfil, o recurso que possua o menor número de atributos possível, já que todos os candidatos selecionados até o momento são plenamente aptos para a atividade, e qualquer atributo excedente caracteriza desperdício de recurso, entretanto, o modelo observa para não sobrecarregar recursos (RIBEIRO; PEREIRA; WANGENHEIM, 2006).

Como, obviamente, todos os recursos alocados para a atividade devem trabalhar simultaneamente, o modelo verifica se todos eles foram alocados para o horário em questão. Caso algum recurso não tenha sido alocado devido a alguma indisponibilidade de tempo, é definido para a atividade um novo horário inicial, posterior ao atual e, com base nele, é repetida a etapa 2. O processo se repete até que seja possível a alocação de todos os recursos necessários. O procedimento 1 demonstra os passos utilizados pelo modelo para a configuração da atividade utilizando as regras definidas na escolha do melhor recurso a ser configurado para a atividade.

Procedimento 1 Procedimento de configuracao de atividades

```
[procedimento configuraAtividade(atividade, horaInicial)]
01  [etapa 1]
02      apto:=selecionaAptos();
03  [etapa2 (horaInicial)]
04      [etapa 2.1]
05          disponiveis:=selecionaDisponiveis(horaInicial, aptos);
06          maisAptos:=selecioneIdeais(disponiveis);
07  [etapa 2.2]
08      Se encontrouTodos entao;
09          aloqueRecursos(maisApto);
10      Senao
11          novaHoraInicial := encontreNovaHoraInicial();
12          etapa2(novaHoraInicial)
13      Fim se;
```

3.1.2 Procedimentos de configuração

No modelo proposto, os recursos são alocados para *workflows* por meio de ações que desenvolvem os papéis de configuração das atividades. Estas ações são divididas em nível de *processo de workflow* e em nível de *configuração de atividades*. A primeira ação

é necessária para que a execução do plano de *workflow* possa ser executado seguindo os passos pré-determinados. A segunda ação, é responsável por promover, para cada atividade independentemente, a configuração de seus recursos. Sendo assim, a ação de execução do *workflow* é responsável por identificar cada atividade ao longo do plano e para cada uma delas executar a ação de configuração individual de recursos. O procedimento apresentado no modelo para percorrer o fluxo possui, naturalmente, uma característica recursiva de execução que lhe dá a flexibilidade necessária para a resolução do problema demonstrado no procedimento 2.

Procedimento 2 Procedimento de configuracao de *workflow*

[procedimento percorra(umWorkflowComponent)]

```
01 Se umWorkflowComponent é um nodo Atividade, entao;
02     configuraAtividade(umWorkflowComponent);
03     percorra(umWorkflowComponent.proximo);
04 Senao;
05     percorra(umWorkflowComponent.proximo);
06 Fim se;
```

Um dos requisitos do modelo apresentado refere-se ao gerenciamento dos recurso, com relação à sua disponibilidade temporal. Para tanto, é necessário um conjunto de métodos que possibilite a realização de um controle adequado das configurações. Estes métodos são responsáveis por evitar que dois ou mais recursos sejam alocados para a mesma atividade em horários conflitantes, além de indicar o horário mais adequado, caso o período desejado esteja totalmente preenchido.

3.1.3 Dependência temporal

A dependência temporal é uma técnica aplicada em diversos domínios de informação, com objetivos distintos, mas é principalmente utilizada para a manutenção cronológica entre nodos em uma rede. Existem maneiras diferentes para a modelagem de dependência temporal, entretanto, o modelo clássico é uma rede de restrição temporal baseada em grafos. As relações de dependências temporais que serão aplicadas variam de acordo com a aplicação do modelo em estudo (HAIMOWITZ et al., 1996) e (BETTINI; WANG; JAJODIA, 2002).

O processo de dependência temporal, tem por objetivo manter uma seqüência cronológica entre as atividades contidas no plano. O plano de *workflow* como está apresentado no modelo, por si só, pode ser considerado um modelo com dependência temporal. É

característica do plano de *workflow*, garantir que uma atividade só será executada após o término da execução de uma anterior, bem como, que uma atividade só será executada em paralelo com outra atividade, desde que ambas estejam modeladas para serem executadas em paralelo. Entretanto, para a configuração de planos de *workflow*, considerando a interação com o ambiente, somente a seqüência cronológica não é suficiente. Entre a execução de uma e outra atividade existem demais variáveis que devem ser consideradas. Essas variáveis irão garantir que não ocorram configurações conflitantes ou discrepantes daquelas esperadas entre as atividades.

Para melhor entendimento, é apresentado um exemplo de um processo de configuração de um plano de *workflow* de um exame radiológico composto por três atividades básicas: preparação do paciente, captura do exame e emissão do laudo. Num primeiro momento, para efeito de exemplificação, não será considerada a dependência temporal entre as atividades. A atividade *preparação do paciente* tem um tempo de execução estipulado em 10 minutos, a atividade *captura do exame* tem um tempo de execução estipulado em 10 minutos e por fim, a atividade *emissão do laudo* tem um tempo de execução estipulado em 20 minutos. Para cada atividade relatada no plano estão empregados atores e recursos que deverão ser disponibilizados para a configuração do plano. A atividade *preparação do paciente* necessita de um ator denominado *circulante* que irá auxiliar o paciente em sua preparação para o exame. A atividade *captura do exame* necessita do recurso *equipamento radiológico* e de um ator *técnico em radiologia* para a execução do exame. A atividade *emissão do laudo*, por sua vez, necessita de um recurso *sala de laudos* e de um ator *médico radiologista*. Com isto, tem-se um plano de *workflow* de um exame radiológico modelado e o resultado dessa modelagem está apresentado na figura 6.

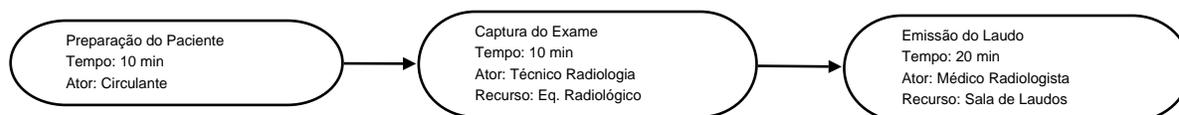


Figura 6: Plano de *workflow* - *exame radiológico*

Para uma visão coerente do problema apresentado é necessário um ambiente onde será aplicada a configuração desse plano. O ambiente, na situação atual, apresenta-se com a configuração de suas agendas como apresentado na tabela 1. A agenda apresentada está representando o final de expediente de um dia e início de expediente de outro dia e cada intervalo de tempo representa 10 minutos. A representação temporal de t_0 a t_6 refere-se ao dia *A* e de t_7 a t_{13} ao dia *B*. Entre o tempo t_6 , que representa o final de expediente do dia *A*, e o tempo t_7 , que representa o início do expediente do dia *B*, existe um intervalo de 12 horas. Os espaços em branco estão disponíveis para alocação de novas atividades,

bem como, os espaços dos recursos preenchidos com os objetos representados por A, B e C estão alocados, cada um a uma atividades distinta.

Circulante		A		B					C					
Técnico Radiologia			A		B					C				
Eq. Radiológico			A		B					C				
Sala de Laudos				A	A	B	B				C	C		
Médico Radiologista				A	A	B	B				C	C		
Tempo	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}

Tabela 1: Agenda dos recursos do ambiente antes da configuração

Por questões externas e irrelevantes ao objeto de estudo, deseja-se aplicar uma nova configuração do plano de *workflow* apresentado, iniciando-a no tempo t_6 . Obedecendo a seqüência cronológica, a configuração do plano de *workflow* será iniciada pela atividade *preparação do paciente*. Considerando como opção padrão do modelo para configuração de atividades a busca sempre pelo primeiro espaço de tempo disponível, o primeiro tempo escolhido para a alocação da atividade *preparação do paciente* será o próprio tempo t_6 . Considerando que o ator *circulante*, único recurso necessário para essa atividade, está disponível neste tempo será efetivada a alocação deste recurso para a atividade em questão. Para a atividade *captura do exame* serão necessários a alocação de dois recursos: o ator *técnico em radiologia* e o recurso *equipamento radiológico*. Seguindo a mesma regra do primeiro espaço de tempo disponível, ambos os recursos poderão ser alocados no espaço de tempo t_7 . Por fim, para a configuração da atividade *emissão do laudo* serão necessários a alocação de dois recursos: o ator *médico radiologista* e o recurso *sala de laudos*. Ambos os recursos possuem disponibilidade para serem alocados nos espaços de tempo t_8 e t_9 .

Analisando o resultado final da configuração, que está representado na tabela 2 pelo objeto D, pode-se concluir que na prática esse tipo de configuração torna-se inviável, pois está fora dos padrões de realidade. Considerando o intervalo que existe entre fim e início de expediente dos dias A e B, o paciente que iniciasse o exame com a atividade *preparação do paciente* no tempo t_6 teria que esperar por um período de 12 horas para continuar seu exame a partir da atividade *captura do exame em* t_7 . Esse problema ocorre pelo fato de não estar especificado no plano de *workflow* um valor mínimo e máximo de intervalo entre cada atividade.

Circulante		A		B			D		C					
Técnico Radiologia			A		B			D		C				
Eq. Radiológico			A		B			D		C				
Sala de Laudos				A	A	B	B		D	D	C	C		
Médico Radiologista				A	A	B	B		D	D	C	C		
Tempo	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}

Tabela 2: Agenda dos recursos do ambiente após a configuração

Este problema do intervalo de alocação entre as atividades não condizente com a realidade é facilmente resolvido com a inclusão, no plano de *workflow*, de dois parâmetros. Estes parâmetros devem controlar um tempo mínimo e um máximo disponíveis para o intervalo de alocação entre as atividades. Podem existir situações nas quais haja necessidade de especificação de um tempo mínimo entre a execução de uma atividade e a execução da atividade subsequente. Com a inclusão do parâmetro contendo um valor de intervalo mínimo, resolve-se esta situação, por outro lado, o parâmetro tempo máximo garante que uma atividade subsequente não será configurada para ser executada fora do intervalo estipulado.

Inversamente proporcional à facilidade de resolver o problema de dependência temporal mencionado é o aumento na complexidade do modelo para a resolução deste problema. No modelo apresentado anteriormente, a configuração do plano de *workflow* seguia um sentido único e ocupava-se apenas em seguir a ordem do plano e garantir que os todos os recursos seriam alocados. Com a inclusão dos parâmetros de intervalo, a configuração do plano deixa de ter um sentido único, pois, necessitará realizar diversos retornos (*backtracking*) para escapar de situações onde não seja possível realizar a configuração. O modelo deverá sempre verificar se o horário de configuração da atividade não está ferindo o tempo de intervalo entre o mínimo e o máximo em relação à atividade anterior. Sempre que o tempo estipulado para configuração estiver fora do intervalo, o modelo deverá realizar *backtracking* e reconfigurar a atividade anterior com um novo tempo inicial.

Para melhorar o entendimento do problema, a adição dos parâmetros citados, será utilizando o mesmo plano de *workflow* apresentado na figura 6, acrescentando apenas os intervalos de dependência. Entre as atividades *preparação do paciente* e *captura do exame* acrescenta-se os parâmetros do intervalo, sendo o parâmetro mínimo igual a *0 minutos* e o parâmetro máximo igual a *10 minutos*. Isto significa que a atividade *captura do exame* poderá ser configurada para ser executada logo após a finalização da *preparação*

do paciente. Entretanto, não poderá exceder em mais que 10 minutos o intervalo de configuração para execução entre *preparação do paciente* e *captura do exame*. Entre *captura do exame* e *emissão do laudo* o parâmetro do valor mínimo será igual a *10 minutos* e o valor máximo igual a *40 minutos*. Desta maneira, limita-se que *emissão do laudo* seja configurada para ser executada entre 10 minutos e 40 minutos após *execução do exame*. A situação da agenda do ambiente continua a mesma apresentada na tabela 1.

Programando a configuração do plano para iniciar no tempo t_7 , considerando que o modelo obedece a regra de configurar sempre o primeiro horário disponível, como primeiro passo, será obtida a primeira configuração para a atividade *preparação do paciente* no tempo t_7 . Como segundo passo o modelo deverá calcular, a partir do tempo t_6 o tempo inicial para a configuração da *captura do exame*. Como o intervalo possui como tempo mínimo o valor de *0 minutos* e tempo máximo o valor de *10 minutos*, o modelo irá considerar que a alocação da *captura do exame* poderá ocorrer entre o início dos tempos t_7 e t_8 . Entretanto, neste caso o modelo irá entender que entre o tempo t_6 e t_7 existe um período de 12 horas e irá interpretar como uma configuração inválida dando ao primeiro *backtracking*.

O *backtracking* faz com que a configuração retorne à atividade *preparação do paciente* e reconfigure-a com um novo valor de entrada. Como o valor de entrada t_6 foi invalidado, o próximo valor de entrada possível de ser aceito é o valor t_7 . O modelo reconfigura *preparação do paciente* para o novo valor t_7 e recalcula o valor do intervalo obtendo os valores de início no intervalo t_8 a t_9 para a configuração da próxima atividade. Como o primeiro valor do intervalo a ser configurado para a *captura do exame* é t_8 e todos os recursos necessário para esta atividade estão disponíveis neste tempo, o modelo irá configurar a atividade para que seja executada em t_8 . O próximo passo será o cálculo do intervalo entre as atividades *captura do exame* e *emissão do laudo* a partir do tempo t_8 . Considerando os valores propostos, será obtido o intervalo iniciando em t_{10} e finalizando em t_{12} . O modelo identificará como primeiro horário disponível com início em t_{12} e irá configurar a atividade *emissão do laudo* para que seja executada a partir do início do tempo t_{12} . O resultado final da configuração do plano está representado na tabela 3 pelo objeto D.

Para simplificar o entendimento do processo de configuração, considerando as dependências temporais, é apresentado o procedimento 3 que está dividido em 16 passos sintetizando a solução encontrada. No apêndice A está apresentado os diagramas dos procedimentos de configuração com dependências temporais. Esses diagramas são partes

que compõe o procedimento apresentado. Complementando o modelo, na seção seguinte será apresentado a manutenção de contexto, parte complementar do processo de configuração de planos de *workflow* com dependência temporal.

Circulante		A		B				D	C					
Técnico Radiologia			A		B				D	C				
Eq. Radiológico			A		B				D	C				
Sala de Laudos				A	A	B	B				C	C	D	D
Médico Radiologista				A	A	B	B				C	C	D	D
Tempo	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}	t_{12}	t_{13}

Tabela 3: Agenda dos recursos do ambiente após a configuração com dependência temporal

Procedimento 3 Procedimento de configuração de atividade com dependência temporal

[procedimento configuraAtividade(atividade, tempoInicial)]

```

01 Se retorno atividade posterior, entao;
02   incrementaTempoInicial(tempoInicial);
03 Senao;
04   calculaIntervalo;
05   Se disponibilidadeRecursos(tempoInicial) é verdadeiro, entao;
06     alocaRecursosAtividade(tempoInicial)
07     configuraAtividade(atividade.proximo, atividade.proximo.tempoinicial);
08   Senao;
09     incrementaTempoInicial(tempoInicial);
10   Se tempoInicialDentroIntervalo(tempoInicial) é verdadeiro, entao;
11     retorna ao passo 05;
12   Senao;
13     retornaAtividadeAnterior;
14   Fim Se;
15 Fim Se;
16 Fim Se;

```

3.2 Manutenção do contexto

Nesta seção será apresentado o conceito da manutenção de contexto com aplicação ao problema de dependência temporal, podendo ser considerada um passo complementar na resolução do problema da dependência temporal. O contexto é a representação da informação de todos os procedimentos seguidos para a resolução do problema. A manutenção do contexto é uma estrutura de dados organizada como uma *rede de satisfação de restrições* capaz de assegurar se a rede é consistente ou inconsistente. A solução para uma

rede de satisfação de restrições é um conjunto de valores que são consistentes com o conjunto de variáveis de todas as restrições (PETRIE, 1991a). Para a construção da rede de restrições foi utilizado o método de sistema de manutenção da verdade baseado em justificativa (JTMS) (DOYLE, 1979) e (DOYLE, 1987).

A utilização do contexto tem um papel representativo no processo de configuração com dependência temporal auxiliando, principalmente, quando existe a necessidade de *backtracking*. Entretanto, pelas características do modelo apresentado, o contexto tem sua função primordial no processo de re-configuração. O processo de re-configuração exige um conhecimento de quais procedimentos foram adotados para que a configuração pudesse ter sido executada. Este conhecimento é necessário para que se possa realizar o processo oposto, de retração de planos. Tendo sido realizado o processo de retração é iniciado um novo processo de configuração com os novos parâmetros que darão origem ao novo resultado. Este processo é mais corriqueiro do que se imagina dentro das unidades hospitalares, como exemplo pode-se citar, exames ou procedimentos cirúrgicos que necessitem ser remarcados para que outros, mais urgentes, possam ser realizados em seu lugar.

No modelo proposto, para cada atividade do plano de *workflow* cria-se um nodo JTMS de validação associado. A configuração, e conseqüentemente o nodo, só é válido se o mesmo puder ser considerado consistente. Como os nodos estão organizados em uma rede de dependência, se um nodo for considerado inválido existirá uma propagação desta invalidação e, conseqüentemente toda a rede subsequente a este nodo será considerada inválida.

A rede de dependência é composta por nodos sentenças que podem conter nodos justificativas validando-os. O nodo sentença contém um rótulo (*label*) que indica se o nodo é consistente (válido) ou inconsistente (inválido). Para indicar que o nodo é consistente aplica-se um rótulo *IN*, em contrapartida, para indicar que o nodo é inconsistente aplica-se um rótulo *OUT*. O nodo sentença tem seu rótulo associado como *IN* se, e somente se, o nodo sentença for uma premissa, ou o nodo for assumido verdadeiro, ou seu nodo justificativa estiver rotulado como *IN*. A estrutura do nodo justificativa é composta por um rótulo, uma lista de nodos de sentenças válidos denominada *in-list* e uma lista de nodos de sentenças inválidos denominada *out-list*. Um nodo justificativa vai ser rotulado como válido (*IN*) se, e somente se, todos os nodos sentença da *in-list* estiverem rotulados como *IN* e se todos os nodos sentença da *out-list* estiverem rotulados como *OUT*. Caso algum nodo sentença da *in-list* estiver rotulado como *OUT* ou algum nodo da *out-list* estiver rotulado como *IN* indica uma contradição e o nodo justificativa é considerado inconsistente.

Toda esta verificação de consistência e conseqüentes rotulações é desempenhada por uma função JTMS denominada função de rotulação¹. A figura 7 mostra o nodo sentença da primeira atividade do plano de *workflow*, apresentado na figura 6.

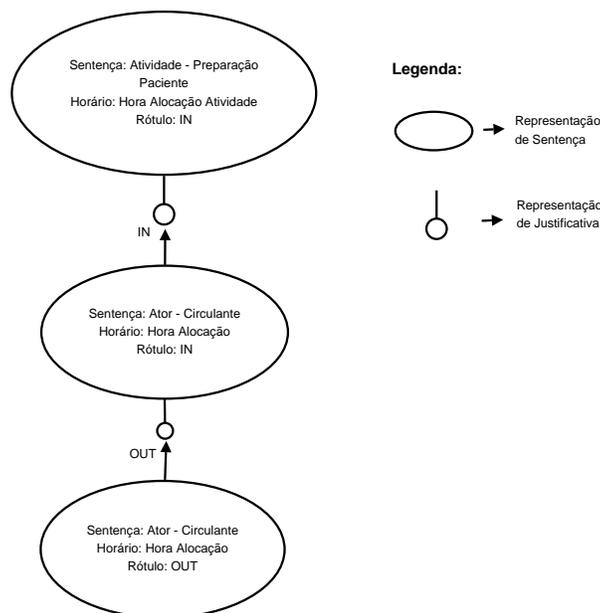


Figura 7: Representação gráfica do nodo sentença da atividade preparação do paciente

A representação mostrada na figura 7, demonstra o modelo clássico onde uma sentença é sempre justificada por outra(s). O nodo que representa a atividade é sempre justificado pela disponibilidade dos recursos que a compõe no horário que se deseja realizar a configuração. A sentença *Atividade - Preparação Paciente* tem sua validação justificada (rótulo *IN*) pela *Ator - Circulante*, que por sua vez, tem sua validação justificada pela negação (rótulo *OUT*) da própria sentença. Neste caso, a negação de *Ator - Circulante* é a afirmação lógica de que o ator estava disponível no horário da configuração. Pelo fato desta afirmação ser verdadeira, a contradição da sentença está associada à *out-list* da justificativa, caso contrário, estaria associada à *in-list* da justificativa indicando que o ator não estaria disponível no horário em questão. A representação gráfica da rede de dependência demonstra a relação existente entre todos os nodos, onde, o anterior é sempre associado na justificativa do nodo atual. Essa estrutura é necessária para manter uma relação e garantir uma rede de propagação entre os nodos. Apesar da rede ser cronológica a ligação entre os nodos sentenças é bidirecional e isto é necessário para que a rede de dependência possa realizar *backtracking* quando necessário. A figura 8 representa graficamente toda a rede de dependência para a configuração do plano mostrado na figura 6.

¹ *in-out-labeling function*

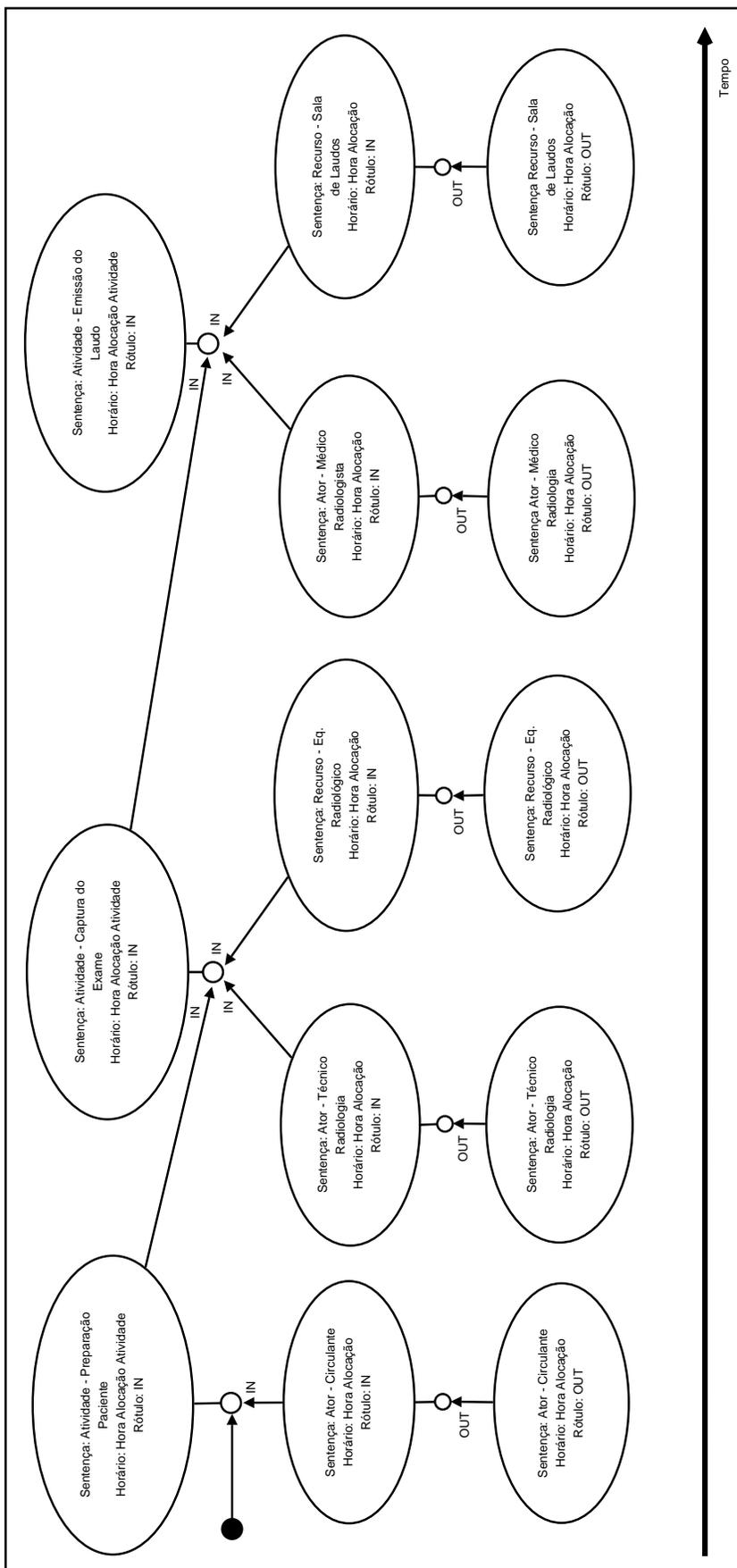


Figura 8: Representação gráfica da rede de dependência

3.2.1 Re-configuração de atividades utilizando o contexto

A re-configuração é um processo importante na manutenção de agenda dos recursos, pois, existirão situações onde será necessária a intervenção manual. Considerando o cenário de uma unidade hospitalar que possui um único equipamento de tomografia computadorizada que, atendendo tanto exames eletivos quanto exames de emergência, possui demanda suficiente para que seu tempo ocioso seja reduzido. Portanto, a agenda deste recurso deverá ser otimizada com poucos espaços para encaixes de qualquer natureza. Em um determinado período de tempo t a agenda do recurso está totalmente preenchida, entretanto, neste mesmo período ocorre uma emergência onde um exame de tomografia deverá ser realizado. O procedimento esperado é que esse exame eletivo que esteja para ser iniciado nesse tempo t seja transferido para tempo t_n e no tempo t seja alocado esse exame de emergência. Tal problema, se analisado pela ótica computacional, não é um problema fácil de ser resolvido. A solução para este problema é alcançada através da rede de dependências mantida pelo contexto desde o início do processo de configuração e dará suporte ao processo de retração e re-configuração.

O processo de resolução deste problema de re-configuração é realizado em duas etapas. Na primeira etapa, é realizada a desconfiguração da atividade no tempo t liberando seus recursos e, no segundo estágio é realizada a re-configuração em um novo tempo t_n . Considerando a necessidade de ser re-configurado o plano mostrado na figura 6, a partir da atividade *Captura do Exame*, para que se libere o horário necessário em outro plano, bastaria iniciar um processo de invalidação na sentença da *Captura do Exame*. A partir da invalidação da configuração do nodo sentença da atividade é realizada a liberação dos recursos da atividade e o sistema JTMS propaga o novo estado do nodo sentença para todos os outros nodos sentenças da rede de dependência. Cada nodo sentença subsequente ao nodo invalidado recebe em seu nodo justificativa, na *in-list*, o nodo sentença anterior atualizado com o rótulo *OUT*. A cada nova alteração nas entradas da justificativa é feito o processo de validação do nodo sentença e atualizado o novo valor do rótulo. Sempre que o nodo sentença, através da rotulação, for considerado inválido o sistema JTMS inicia o processo de liberação dos recursos anteriormente alocados para a atividade em questão.

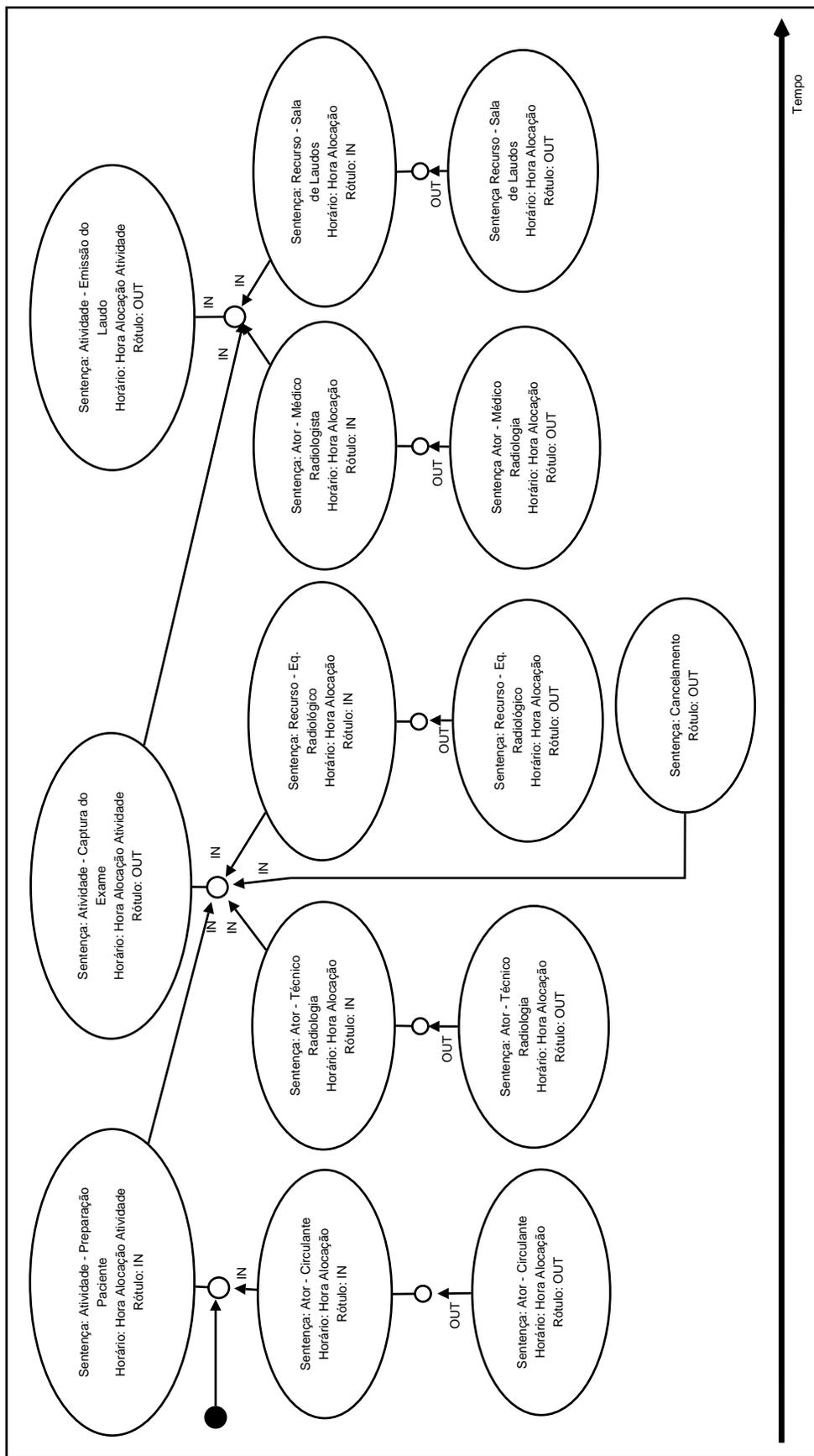


Figura 9: Inserção de um nodo cancelamento na rede de dependência

Para realizar o procedimento de invalidação de um nodo sentença é necessário inserir um novo nodo de contradição² na lista de justificativas do nodo que se deseja invalidar. Esse nodo de contradição denomina-se *cancelamento*, possui a rotulação *OUT* e é inserido na *in-list* da justificativa do nodo sentença da atividade. O nodo sentença de cancelamento indica que ocorreu uma ação externa manual sobre o sistema e toda a rede será invalidada a partir daquele ponto. A figura 9 mostra a rede de dependência com uma inferência manual de cancelamento no nodo sentença da atividade *Captura do Exame*.

Após concluído o procedimento de invalidação da rede de dependências e a liberação de recursos, o modelo inicia o processo de re-configuração da atividade com novos parâmetros. A re-configuração segue o mesmo processo de configuração acrescido de uma nova entrada, na justificativa do primeiro nodo sentença a ser configurado, com o nodo cancelamento *OUT* na *out-list*. Essa entrada serve para justificar que essa é uma nova configuração realizada a partir de novos parâmetros, e que existiu anteriormente uma configuração que foi invalidada com o mesmo nodo sentença que valida a nova configuração. A figura 10 apresenta o modelo da rede de dependência completa incluindo a nova configuração após concluído o processo de re-configuração.

² Nodo sentença assumido falso sem nodo de justificativa.

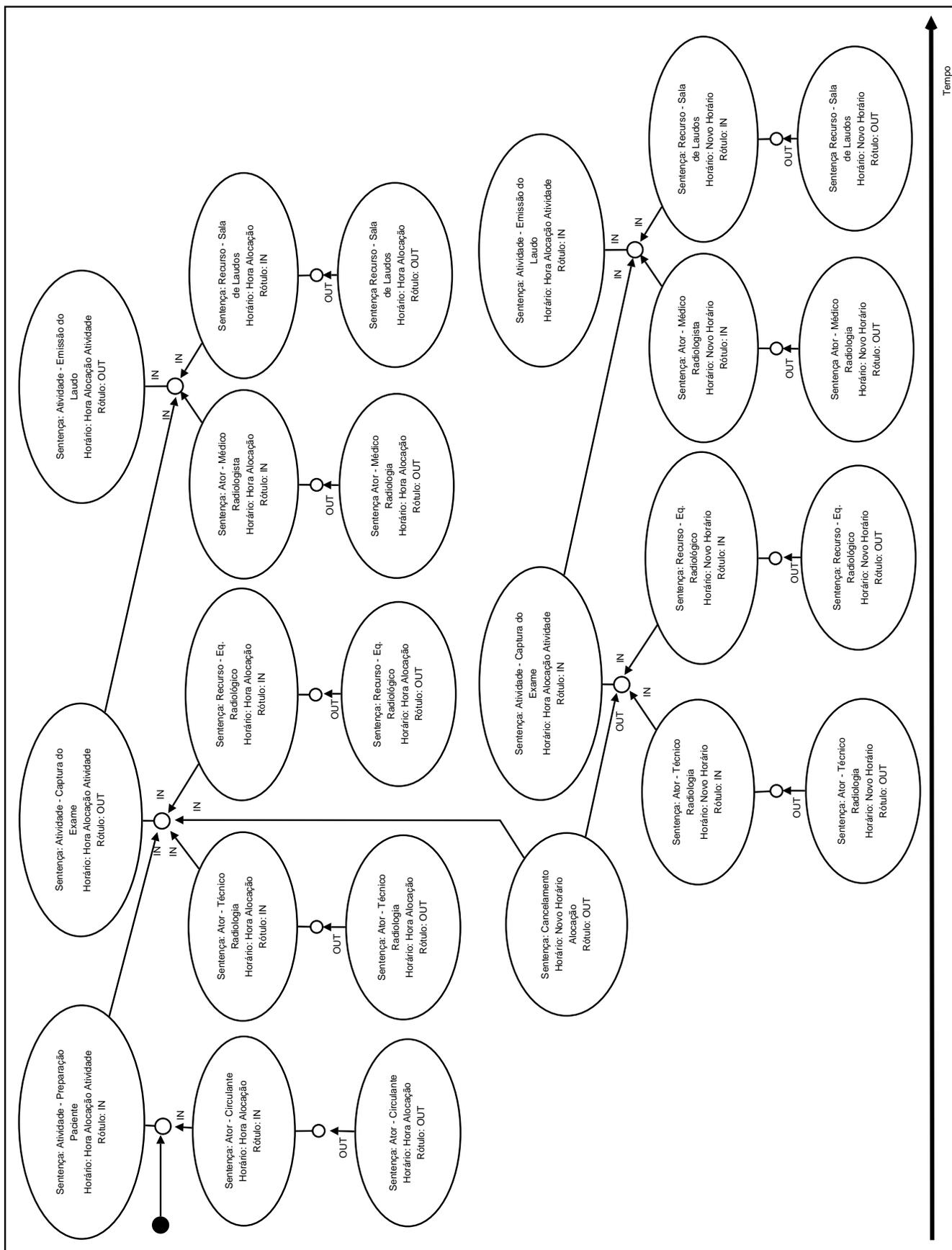


Figura 10: Representação gráfica do processo de re-configuração

3.3 Validação

Para comprovar que o modelo apresentado é verdadeiro e que toda a descrição apresentada é possível de ser aplicada na prática, foi necessária a implementação própria de um protótipo que representasse fielmente o modelo sugerido. O protótipo foi desenvolvido conforme ao que se propõe este modelo e especificamente para atender às especificações aqui apresentadas. A implementação do protótipo, apesar de não ter sido apresentada como um objetivo específico deste trabalho, caracterizou-se como necessidade para a validação do modelo apresentado. A implementação seguiu as especificações apresentadas anteriormente neste capítulo, bem como, as especificações de protocolo e estrutura de mensagens apresentadas no apêndice B deste trabalho. Com o protótipo foi possível realizar diversos experimentos e ter uma avaliação concreta do modelo apresentado. Apesar do modelo ter sido baseado em teorias largamente difundidas, concisas e bem estruturadas, o comportamento e os resultados que o modelo apresentaria só seriam possíveis analisar quando aplicados em ambientes com as mesmas características dos encontrados nos hospitalares. As avaliações foram divididas em avaliações realizadas em laboratório com dados simulados e realizada em comparação com dados reais encontrados no Centro Cirúrgico do Hospital Universitário desta instituição.

3.3.1 Experimentos simulados

Os experimentos simulados foram realizados com base na modelagem de uma clínica radiológica, que dispunha de médicos e equipamentos capazes de realizar alguns tipos de exames, dos quais, foram modelados planos de *workflow*. A clínica modelada dispõe de um ator, denominado *Recepcionista e Circulante A*, responsável pela recepção e pelo atendimento pré-exame do paciente, um ator técnico denominado *Técnico A*, responsável pela aquisição de alguns tipos de exames e Médicos Radiologistas, denominados *Médico A* e *Médico B*, responsáveis pela realização de alguns tipos de exames e por laudagem de exames. A tabela 4 detalha as especialidades, habilidades e o expediente dos atores.

Descrição	Especialidades	Habilidades	Expediente
Recepcionista A	Recepcionista	Recepção	Início:7h30min Fim:11h30min
		Circulante	Início:13h00 Fim:17h00
Radiologista A	Médico Radiologista	USG Abdomem Total	Início:08h00 Fim:12h00
		USG Obstétrico	
		RX Tórax	
Radiologista B	Médico Radiologista	TC Cabeça	Início:13h30min Fim:17h30min
		USG Obstétrico	
		RX Tórax	
Técnico A	Técnico Radiologia	TC Cabeça	Início:7h30min Fim:11h30min
		RX Tórax	Início:13h00 Fim:17h00

Tabela 4: Tabela de atores

Além dos atores, foram modelados recursos necessários para a realização dos exames e preparação do paciente. Para atividades de *preparação do paciente* existe uma sala denominada *preparação do paciente*, para atividades de *exames de ultrassonografia* existe uma sala denominada *Sala de Ultrassom*, para atividades de *exames de radiografias* está disponível uma sala denominada *Sala de Radiografias*. Também está disponível uma sala para atividades de *exames de tomografias computadorizadas*, denominada *Sala de Tomografia* e uma sala destinada à interpretação de exames e laudagem denominada *Sala de Laudos*. Todos os recursos com suas características estão demonstrados na tabela 5. Completando o modelo, estão disponíveis quatro planos de exames distintos para a simulação de configurações, *radiografias de torax*, *ultrassonografia obstétrica*, *ultrassonografia de abdomem total* e *tomografia computadorizada de cabeça*.

Descrição	Especialidades	Habilidades	Expediente
Sala Preparação A	Sala Preparação	Preparação	Início:7h30min Fim:11h30min
			Início:13h00 Fim:17h00
Sala Tomografia A	Sala Tomografia	TC Cabeça	Início:13h00 Fim:17h00
Sala Laudos A	Sala Laudos	Laudos	Início:10h00 Fim:12h00
			Início:15h30min Fim:17h30min
Sala Ultrassom A	Sala Ultrassom	USG Obstétrico	Início:08h00 Fim:10h00
		USG Abdomem Total	Início:13h30min Fim:15h30min
Sala Radiografia A	Sala Radiografia	RX Tórax	Início:7h30min Fim:11h30min

Tabela 5: Tabela de recursos

A avaliação é baseada nas simulações de configuração dos planos de *workflow*, onde serão analisados os percentuais de ocupação da agenda dos recursos envolvidos nas configurações dentro do período. O objetivo é verificar o desempenho do procedimento de configuração e avaliar o aproveitamento obtido pelos atores e recursos na agenda através das restrições e otimizações impostas pelo procedimento, sendo que, ao todo serão realizadas três simulações distintas.

Na primeira simulação serão avaliados os resultados obtidos através da configuração sequencial de um único plano de *workflow* em um período de dez dias de expediente. O objetivo deste experimento é avaliar o comportamento do procedimento de configuração no ambiente apresentado, considerando a situação onde são enviados sempre planos com as mesmas características.

Na segunda simulação serão avaliados os resultados obtidos com a configuração em horários sequenciais com escolha aleatória dos quatro planos de *workflow* disponíveis. O objetivo deste experimento é verificar como o procedimento de configuração se comporta dentro de processos de configuração, em que são enviados planos de *workflow* com características distintas no ambiente especificado.

Por fim, na terceira simulação, serão avaliados os dados obtidos com a configuração, retração e re-configuração em horários sequenciais com escolha aleatória dos quatro planos de *workflow* disponíveis. O objetivo com esta simulação é verificar o aproveitamento que o procedimento de configuração é capaz de apresentar após a retração e re-configuração de planos. A avaliação do comportamento do procedimento na re-configuração de novos

planos é importante para avaliar a capacidade do modelo em reaproveitar espaços de tempo ociosos.

Os experimentos ocorrem através de um grande volume de dados enviados simultaneamente ao protótipo simulando uma grande fila de atendimentos. Conforme o recebimento das solicitações de configuração o protótipo se encarrega de alocar conforme as restrições de disponibilidade modeladas anteriormente. Após o encaminhamento das solicitações as configurações terem sido executadas é possível avaliar o comportamento do modelo e os resultados que o mesmo conseguir atingir em seus propósitos de agendamento dos recursos.

3.3.2 Experimentos no Centro Cirúrgico do Hospital Universitário

O experimento realizado no Centro Cirúrgico (CC) do Hospital Universitário (HU) consiste em analisar os procedimentos de elaboração da agenda do setor, atualmente realizada pela chefia. A chefia recebe diariamente, até as dezesseis horas, requisições de cirurgias emitidas pelos cirurgiões. Com base nestas requisições é elaborada a agenda do setor para o próximo dia com a programação das cirurgias que deverão ser realizadas. O levantamento dos dados internos encontrados no CC permite modelar, no protótipo, a mesma realidade encontrada no setor. Com o modelo representado no protótipo, aplica-se criteriosamente, a mesma seqüência de acontecimentos ocorridos no setor. A partir dos resultados obtidos do protótipo é possível compará-los com os dados levantados no CC/HU e analisar a similaridade encontrada entre as duas situações e determinar o quanto o modelo computacional assemelha-se à agenda elaborada.

O CC/HU é composto por cinco salas cirúrgicas, classificadas conforme a capacidade individual de atendimento cirúrgico, e quatro leitos de recuperação pós-anestésico (RPA). As salas cirúrgicas são divididas em quatro tipos: sala cirúrgica de grande porte, sala cirúrgica de médio porte, sala cirúrgica de pequeno porte e sala cirúrgica local, conforme apresentado na tabela 6. A distribuição dos procedimentos cirúrgicos entre as salas é realizada utilizando o critério do grau de importância da cirurgia. Contudo, em alguns casos podem ocorrer exceções e por determinação do cirurgião, uma cirurgia de pequeno porte pode vir a ser executada em uma sala de grande porte, por exemplo.

Descrição	Importância
Sala Cirúrgica I	Grande Porte
Sala Cirúrgica II	Local
Sala Cirúrgica III	Pequeno Porte
Sala Cirúrgica IV	Médio Porte
Sala Cirúrgica V	Grande Porte

Tabela 6: Tabela das salas cirúrgicas do CC/HU

O CC mantém uma escala de enfermeiros, auxiliares e maqueiros suficiente para atender a demanda das cinco salas cirúrgicas. A distribuição do corpo de enfermagem (enfermeiros, instrumentadores e auxiliares) é realizada conforme a classificação da sala cirúrgica e um dos profissionais é designado para desempenhar o papel de circulante. Conforme a necessidade, o próprio enfermeiro chefe do setor pode vir a desempenhar o papel de circulante, que tem a função de circular pelas diversas salas auxiliando em atividades não programadas e emergenciais, na reposição de materiais e na RPA. A sala cirúrgica local é a única que segue a exceção em ter um corpo de enfermagem permanente, sendo que, em alguns períodos está disponível um auxiliar e em outros períodos apenas o circulante desempenhando o papel de auxiliar. Completando o quadro, estão disponíveis, no centro cirúrgico dez médicos anestesistas distribuídos em três períodos de quatro horas, conforme a tabela 7.

Período	Quantidade
das 08h00 as 12h00	4
das 12h00 as 16h00	4
das 16h00 as 20h00	2

Tabela 7: Tabela de disponibilidade de médicos anestesistas no CC/HU

A agenda, ou escala de serviço, é elaborada distribuindo os recursos conforme os procedimentos cirúrgicos. Na solicitação que o cirurgião encaminha ao CC deve constar, além de outros dados, a duração aproximada da cirurgia e horário previsto para início. A classificação do grau de importância da cirurgia para a escolha da sala, geralmente é determinada pelo próprio elaborador da agenda baseado em sua experiência profissional. Outro critério considerado para a escolha da sala cirúrgica é o fato de quais cirurgias o mesmo cirurgião irá realizar naquele dia, pois, um cirurgião não deverá trocar de sala mesmo que os procedimentos cirúrgicos sejam de portes diferentes. Um cirurgião que

tenha iniciado um procedimento cirúrgico em uma sala para cirurgia de grande porte e na seqüência realize um procedimento de pequeno porte, deverá realizar tal procedimento na sala cirúrgica de grande porte.

Após ter sido realizado o levantamento das informações relacionadas ao funcionamento do CC, partiu-se para o acompanhamento da elaboração da agenda pelo responsável do CC. A elaboração ocorreu em um dia anterior ao expediente e a mesma está apresentada na tabela 8. A agenda é elaborada definindo os procedimentos cirúrgicos que serão realizados no início do expediente e, apesar de ser possível calcular um horário de término do procedimento, este dado não é informado na agenda. Para os procedimentos seguintes somente é acrescentado a informação *segue*. A agenda foi elaborada para que os procedimentos 2, 6, 7 e 8 fossem elaborados todos em seqüência e na mesma sala, pois os mesmo são realizados pelo mesmo cirurgião. O mesmo acontece com os procedimentos 5 e 10, 4 e 9, 15 e 16. Nos procedimentos 4 e 9, apesar de serem considerados de porte médio e grande consecutivamente, ambos foram realizados em uma sala cirúrgica de médio porte pelo fato das duas salas de grande porte já estarem sendo utilizadas para outros procedimentos e serem realizados pelo mesmo cirurgião. O procedimento 11, apesar de constar na agenda, não é um procedimento programado e está caracterizado como *condicional*. Isto significa que procedimento cirúrgico está condicionado ao acontecimento de algum fator externo como, por exemplos, disponibilidade de leito em UTI, disponibilidade de algum material ou equipamento específico, dentre outros.

Fatores relacionados principalmente ao estado clínico do paciente influenciam durante a execução dos procedimentos, contribuindo para que a agenda nem sempre possa ser seguida como o planejado. Com isso, a agenda sofre modificações durante todo o período e vai se desenhando uma nova configuração dos procedimentos executados. Procedimentos vão sendo suspensos, remarcados e encaixes vão acontecendo durante o período. Os encaixes são procedimentos que podem ser executados devido o fato do CC estar com a agenda disponível com as suspensões e remarcações ocorridas e os pacientes em fila de espera, podem ter seu procedimento cirúrgico adiantado. Outro dado observado foi a diferença entre os horários planejados para início dos procedimentos e os horários que de fato os procedimentos iniciaram. Um exemplo é o procedimento cirúrgico 2 que estava programado para ser iniciado às 8h00 e só teve início às 15h10min. A tabela 9 apresenta os dados dos procedimentos cirúrgicos realizados no CC no período avaliado.

A modelagem aplicada no protótipo representa a realidade encontrada no CC, adaptando-se às necessidades individuais de características. O modelo necessita que sejam indicadas

as características associadas a cada recurso. As salas cirúrgicas são classificadas como local, pequena, média e grande, os leitos com o de RPA. Como recursos físicos estão definidos em cinco salas com as características demonstradas na tabela 10 e os leitos que possuem apenas a característica de serem leitos RPA. Como recursos humanos foram definidos dez atores médicos anestesistas e dois atores maqueiros. Também foram criados todos os planos de *workflow* definidos com três atividades, *preparação do paciente*, *procedimento cirúrgico* e *recuperação pós-anestésico*. A atividade *preparação do paciente* é realizada pelo maqueiro que tem a função de buscar e auxiliar o paciente na troca de roupas. O *procedimento cirúrgico* necessita um recurso sala, com a característica necessária ao procedimento cirúrgico, e de um recurso humano médico anestesista. Por fim, a *recuperação pós-anestésico* necessita de um recurso leito de RPA. Os tempos necessários para a realização das atividades foram especificados com base em tempos médios de execução dos procedimentos e tempos médios de recuperação pós-anestésico dos pacientes.

	Local	Pequena	Média	Grande
Sala Cirúrgica I	Sim	Sim	Sim	Sim
Sala Cirúrgica II	Sim	Não	Não	Não
Sala Cirúrgica III	Sim	Sim	Não	Não
Sala Cirúrgica IV	Sim	Sim	Sim	Não
Sala Cirúrgica V	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 10: Tabela das salas cirúrgicas e suas características

O procedimento de avaliação do experimento no CC ocorreu em dois momentos. No primeiro, aplicou-se no modelo os dados iniciais do planejamento da agenda, conforme a elaboração da mesma pelo CC e, em seguida, apresentou-se os dados relativos aos procedimentos subsequentes. No segundo momento foram aplicadas ao modelo as informações como ocorreram de fato durante o expediente, na mesma ordem dos acontecimentos. Com o resultado das duas situações modeladas é possível realizar comparações com a agenda elaborada pelo CC e com o histórico de acontecimentos do setor.

	Procedimento Cirúrgico	Sala	Horário	Tempo	Tipo	Classificação
1	Reconstrução Total Maxilar/Mandíbula	1	8h00	5h30min	Programada	Grande
2	Exerese de Nervus Azul	2	8h00	20min	Programada	Local
3	Videolaparoscopia	3	8h00	1h30min	Programada	Pequena
4	Biópsia de Laringe	4	8h00	35min	Programada	Média
5	Safenectomia Bilateral	5	8h00	2h30min	Programada	Grande
6	Punch	-	segue	30min	Programada	Local
7	Exerese de Epitelioma em Dorso	-	segue	30min	Programada	Local
8	Ampliação CBC Nasogeniano	-	segue	1h30min	Programada	Local
9	Esvaziamento Cervical Esq. Radical	-	segue	1h30min	Programada	Grande
10	Ampliação de Margens de CA	-	segue	2h00	Programada	Grande
11	Tireoidectomia	-	segue	2h30min	Condicional	Média
12	Troca de Expansor por Prótese	4	13h00	2h30min	Programada	Média
13	Videolaparoscopia Diagnóstica	5	13h00	2h00	Programada	Grande
14	Videolaparoscopia Cirúrgica	-	segue	2h00	Programada	Média
15	Ressecção de CBC Face + Retalhos	2	segue	1h30min	Programada	Local
16	Ressecção de CBC Região Temporal	-	segue	1h00	Programada	Local

Table 8: Escala de cirurgia do CC/HU

	Procedimento Cirúrgico	Sala	Horário Planej.	Tempo Estimado	Tipo	Classif.	Hora Início	Hora Fim
1	Reconst. Total Maxilar/Mand.	x	8h00	5h30min	Suspensa	Grande	-	-
2	Exerese de Nervus Azul	2	8h00	20min	Programada	Local	15h10min	15h45min
3	Videolaparoscopia	5	8h00	1h30min	Programada	Pequena	9h15min	10h45min
4	Biópsia de Laringe	4	8h00	35min	Programada	Média	8h30min	8h45min
5	Safenectomia Bilateral	x	8h00	2h30min	Suspensa	Grande	-	-
6	Punch	2	segue	30min	Programada	Local	14h20min	14h35min
7	Exerese Epitelioma em Dorso	2	segue	30min	Programada	Local	9h15min	9h30min
8	Ampliação CBC Nasogeniano	2	segue	1h30min	Programada	Local	10h00	11h40min
9	Esvaziamento Cerv. Esq. Radical	4	segue	1h30min	Programada	Grande	9h50min	12h00
10	Ampliação de Margens de CA	5	segue	2h00	Programada	Grande	13h35min	16h20min
11	Tireoidectomia	1	segue	2h30min	Condicional	Média	11h00	13h30min
12	Troca de Expansor por Prótese	4	13h00	2h30min	Programada	Média	14h40	1h00
13	Videolaparoscopia Diagnóstica	1	13h00	2h00	Programada	Grande	14h00	14h45min
14	Videolaparoscopia Cirúrgica	x	segue	2h00	Suspensa	Média	-	-
15	Ressecção CBC Face + Retalhos	x	segue	1h30min	Remarcada	Local	-	-
16	Ressecção CBC Região Temporal	2	segue	1h00	Programada	Local	16h30min	18h30min
17	Reconstrução de Fisura Alveolar	3	-	-	Encaixe	Pequena	8h45min	11h10min
18	Embolectomia MSE	1	-	-	Encaixe	Média	15h40	17h30min
19	Safenectomia Bilateral	1	-	-	Encaixe	Grande	8h15min	9h20min
20	Drenagem Abscesso	2	-	-	Encaixe	Local	13h30min	13h45min

Table 9: Procedimentos cirúrgicos realizados no CC/HU

4 *Resultados*

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através de simulações e comparações do modelo simulado com parâmetros encontrados em ambientes com situações reais de utilização. O objetivo destas simulações é obter parâmetros que possibilitem comparação e avaliação do modelo apresentado.

4.1 Resultados dos experimentos simulados

Os resultados obtidos nos experimentos simulados dentro de um ambiente controlado ajudará a visualizar o grau de eficiência que o modelo proposto apresenta em características específicas. Nestes ambientes tem-se um controle sobre o estado do universo do problema possibilitando analisar situações distintas e acompanhar melhor o comportamento do modelo. Os resultados são avaliações de três diferentes situações e cada uma representa um domínio distinto no universo do problema.

4.1.1 Resultados da primeira simulação

A primeira avaliação apresenta o resultado obtido através de configurações realizadas com um único plano de *workflow* simulando uma grande fila de entrada e analisando o resultado das agendas. Os valores dos percentuais de ocupação dos recursos apresentados por esta simulação está demonstrado na tabela 11. É possível identificar que os resultados da configuração estão fortemente amarrados ao ambiente que se encontram, além de estarem também às dependências temporais.

Analisando os recursos *Médico B* e *Sala de Laudos*, que possuem restrições entre si, pode ser comprovada que o ambiente tem forte influência sobre os resultados da configu-

Recursos	Ocupação %
Recepcionista	25,46 %
Médico A	8,33 %
Médico B	41,66 %
Técnico A	38,20 %
Sala de Preparação	12,73 %
Sala do Tomógrafo	76,39 %
Sala de Laudos	50,00 %

Tabela 11: Tabela de percentuais da primeira simulação

ração. O *Médico B* possui expediente durante o período vespertino, enquanto a *Sala de Laudos* possui expediente somente durante parte do período e apesar da *Sala de Laudos* possuir expediente durante o matutino não é suficiente. A *Sala de Laudos*, nesse experimento, apresenta um percentual de ocupação de 50%, entretanto, se considerado somente o período vespertino do expediente onde o *Médico B* está disponível, a mesma apresenta um percentual de ocupação de 100%. Por outro lado, o *Médico B* possui o vespertino todo disponível para laudagens, contudo, como a *Sala de Laudos* só está disponível na segunda metade do vespertino a sua agenda reduz-se à metade. Considerando o experiente da *Sala de Laudos* é possível afirmar que o percentual de ocupação do *Médico B*, nesta simulação, está acima de 80%.

Outro ponto a ser considerado refere-se ao fato de ser sempre o mesmo plano de *workflow* o objeto da configuração. Este tipo de configuração acaba criando blocos de tempos sempre de mesmo tamanho que impede que alguns espaços possam vir a ser melhor aproveitados. Entretanto, para justificar esta afirmação, é necessário que seja avaliado mais uma vez o conjunto todo do ambiente, pois, neste caso, a dependência temporal tem influência sobre a não utilização dos espaços ociosos entre configurações.

A análise das informações juntamente com as restrições de todo o conjunto leva a concluir que os resultados alcançados nesta avaliação são bastante satisfatórios. A figura 11 apresenta graficamente parte dos resultados obtidos com a configuração do plano de *workflow* no modelo apresentado. Na figura é possível observar com maior clareza a distribuição das configurações entre os recursos.

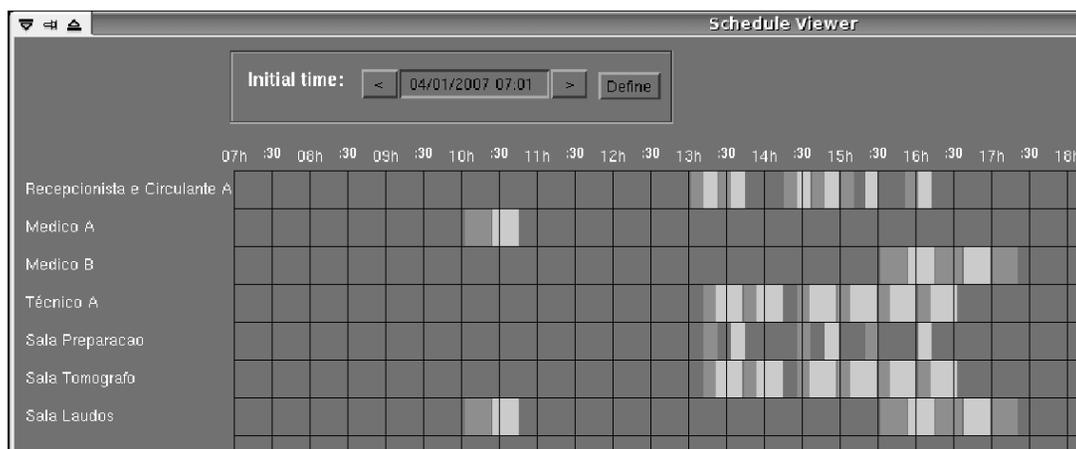


Figura 11: Representação gráfica da configuração da primeira simulação

4.1.2 Resultados da segunda simulação

A segunda avaliação apresenta o resultado obtido através de configurações aleatórias realizada com quatro planos de *workflow* com características individuais. Os valores de percentuais de ocupação conseguidos por essa simulação está demonstrado na tabela 12. Estes resultados demonstraram uma melhor distribuição na utilização dos recursos, justificado, pelo fato de terem sido utilizados planos diferentes. A principal avaliação percebida neste experimento, além das já mencionadas na primeira avaliação, é a saturação de um recurso afetando a distribuição com os demais. O recurso *Sala de Laudos* visivelmente é o recurso que representa o gargalo do sistema. Todas as configurações de planos dependem de um espaço de tempo na *Sala de Laudos* e esta concorrência acaba gerando o gargalo. Como na primeira avaliação, as restrições de ambiente e dependência temporal influenciaram para que os percentuais não apresentassem melhores valores, principalmente no recurso *Sala de Laudos* que poderia ter alcançado 100% de aproveitamento.

Recursos	Ocupação %
Recepcionista	55,47 %
Médico A	61,46 %
Médico B	59,37 %
Técnico A	48,44 %
Sala de Preparação	22,13 %
Sala do Tomógrafo	55,21 %
Sala de Laudos	83,33 %
Sala de USG	52,08 %
Sala de RX	41,67 %

Tabela 12: Tabela de percentuais da segunda simulação

A análise do cenário atual juntamente com as restrições de todo o conjunto leva a concluir que os resultados alcançados nesta avaliação são bastante satisfatórios. A figura 12 apresenta graficamente, parte dos resultados obtidos com a configuração aleatória dos quatro planos de *workflow* no modelo apresentado. Na figura é possível observar com maior clareza a distribuição das configurações entre os recursos. O protótipo escolheu aleatoriamente para esta avaliação 24 exames de *RX*, 33 exames de *Tomografia*, 16 exames de *USG Abdomem Total* e 12 exames de *USG Obstétrico*.

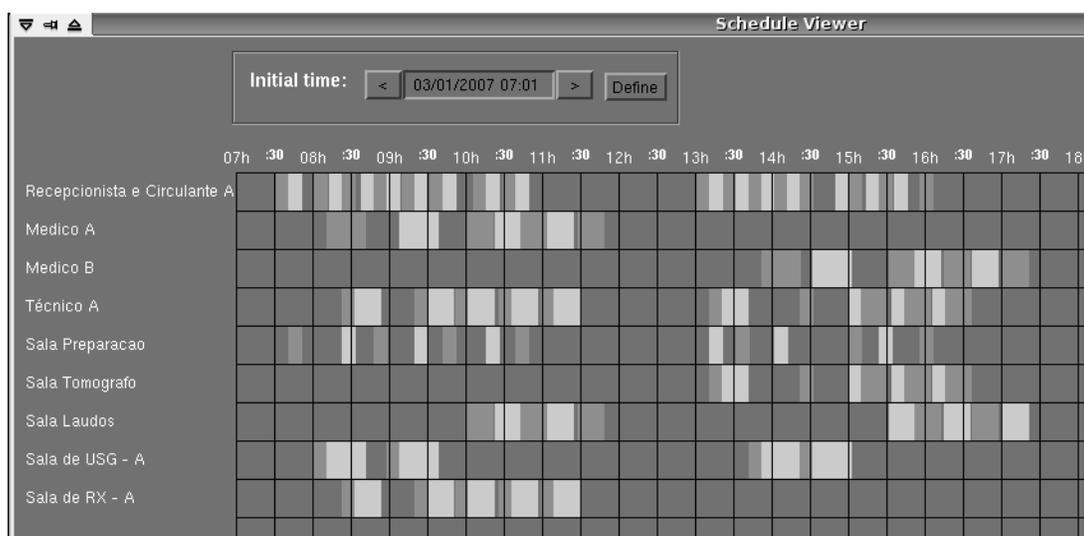


Figura 12: Representação gráfica da configuração da segunda simulação

4.1.3 Resultados da terceira simulação

A terceira simulação apresenta os resultados obtidos pela análise da re-configuração de planos de workflow após ter sido realizado retrações em 40% dos planos previamente configurados. Para a obtenção de melhores resultados estatísticos foi realizado a configuração de 150 planos de workflow, aleatórios, dentre os os quatro disponíveis. Os valores de percentuais de ocupação obtidos após a configuração estão demonstrados na tabela 13.

Recursos	Ocupação %
Recepcionista	44,51 %
Médico A	51,33 %
Médico B	50,19 %
Técnico A	32,00 %
Sala de Preparação	16,29 %
Sala do Tomógrafo	37,50 %
Sala de Laudos	64,40 %
Sala de USG	51,51 %
Sala de RX	26,51 %

Tabela 13: Tabela de percentuais da terceira simulação

Após concluída a configuração, foram realizadas retrações, com escolhas aleatórias, de 40% dos planos de *workflows* configurados. Os valores dos percentuais de ocupação obtidos após a retração estão demonstrados na tabela 14.

Recursos	Ocupação %
Recepcionista	33,05 %
Médico A	35,04 %
Médico B	37,69 %
Técnico A	23,77 %
Sala de Preparação	11,55 %
Sala do Tomógrafo	28,98 %
Sala de Laudos	45,45 %
Sala de USG	37,69 %
Sala de RX	18,56 %

Tabela 14: Tabela de percentuais da terceira simulação após a retração de 40%

Concluída a retração, realizou-se o envio de 60 novas configurações de planos de workflow aleatórios, para ocupar os espaços ociosos e verificar os percentuais de ocupação, além de verificar os percentuais de ocupação após a re-configuração. Comparado com os valores iniciais da configuração, mostrado na tabela 13, conclui-se que o resultado obtido para os percentuais de ocupação após re-configuração dos planos, é plenamente satisfatório. Esta simulação comprova ser possível obter bons resultados, realizando aproveitamento de espaços ociosos na re-configuração de planos através do modelo proposto. Na tabela 15 estão demonstrados os resultados obtidos após a re-configuração.

Recursos	Ocupação %
Recepcionista	44,60 %
Médico A	51,51 %
Médico B	49,62 %
Técnico A	32,86 %
Sala de Preparação	16,29 %
Sala do Tomógrafo	35,61 %
Sala de Laudos	64,39 %
Sala de USG	50,76 %
Sala de RX	30,11 %

Tabela 15: Tabela de percentuais da terceira simulação após re-configuração

4.2 Resultados da validação realizada no Centro Cirúrgico

O objetivo da validação realizada no CC é comparar se o modelo computacional sugerido e implementado apresenta resultados similares ao daqueles encontrado no planejamento manual das atividades pelo setor. Para tanto, o ambiente modelado é muito similar ao encontrado no CC e as ações impostas seguiram a mesma ordem e forma de acontecimentos.

A primeira comparação foi realizada com o planejamento da agenda de procedimentos cirúrgicos elaborada pelo setor. Os dados foram informados seguindo a ordem e a semelhança com os dados fornecidos pelo setor e apresentados na tabela 8. Foram informadas, no primeiro momento, as cirurgias que haviam horário de início estabelecido (cirurgias de

1 a 5, 12 e 13) e em seguida foram informadas os procedimentos cirúrgicos que seriam realizados na seqüência. A similaridade entre o modelo manual e o modelo manual pode ser considerado bastante satisfatório. As percentagens de ocupação dos recursos, quando comparados, obtiveram os mesmos valores e estão apresentadas na tabela 16.

Descrição	Ocupação
Sala Cirurgica I	62,50 %
Sala Cirurgica II	44,44 %
Sala Cirurgica III	12,50 %
Sala Cirurgica IV	47,22 %
Sala Cirurgica EV	66,67 %
Leito Pós Anestésico A	41,67 %
Leito Pós Anestésico B	58,33 %
Leito Pós Anestésico C	8,33 %
Leito Pós Anestésico D	0,00 %
Maqueiro A	33,33 %
Maqueiro B	11,11 %
Anestesista A	100 %
Anestesista B	75,00 %
Anestesista C	79,17 %
Anestesista D	62,50 %
Anestesista E	87,50 %
Anestesista F	100 %
Anestesista G	62,50 %

Table 16: Tabela de percentuais da agenda do CC

Uma diferença encontrada entre o modelo manual e o modelo computacional foi registrada no início de um procedimento cirúrgico que deveria ter sido planejado para iniciar às 08h00 e o modelo configurou seu início para às 08h10min. Este fato ocorreu pelas restrições encontradas no ambiente, pois segundo a avaliação baseada nas regras do modelo, não seria possível ao ator Maqueiro A realizar a preparação de todos os pacientes e deixá-los prontos até às 08h00. Assim, o modelo computacional atrasou o planejamento do início de um dos procedimentos.

A segunda avaliação foi realizada inferindo no modelo computacional todas as ações que ocorreram durante o expediente no setor. O objetivo com esse experimento é avaliar

a capacidade do modelo em adaptar-se às ocorrências não planejadas que envolvem um ambiente real. Durante o expediente, alterações foram acontecendo e novos dados foram sendo gerados. Três procedimentos cirúrgicos foram suspensos, um procedimento foi remarcado para outra data e quatro novos foram acrescentados. Entretanto, as maiores alterações observadas aconteceram com relação aos horários planejados para início dos procedimentos. Todos os procedimentos que haviam sido planejados e não foram suspensos ou remarcados, iniciaram em horário diferente do planejado. A figura 13 demonstra uma representação gráfica do resultado das configurações após expediente.

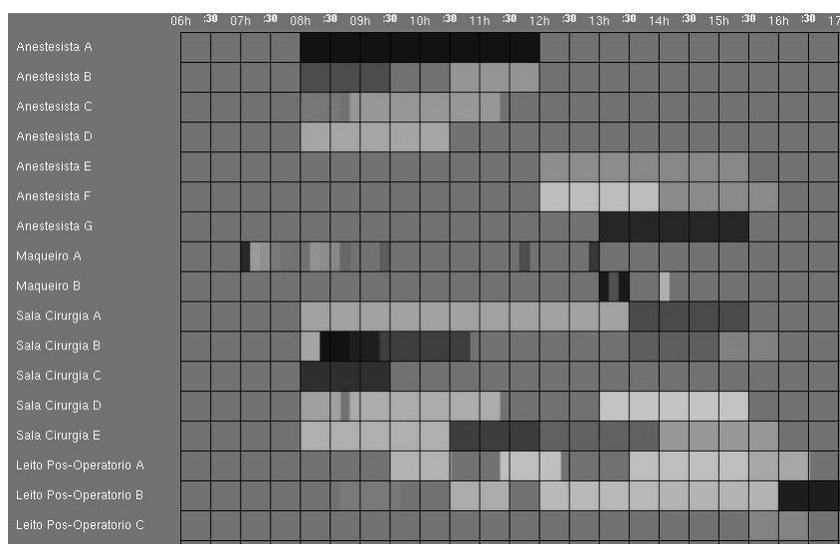


Figura 13: Configurações do CC após expediente

Conforme os procedimentos foram sendo iniciados e as alterações acontecendo, os dados foram sendo alimentados no modelo computacional. No final do expediente a comparação de similaridade entre os modelos manual e computacional mais uma vez foi satisfatória. As diferenças aconteceram principalmente com relação à escolha das salas cirúrgicas e leitos pós-anestésicos. Baseado nas regras o modelo computacional sugeria um determinado recurso, enquanto, o corpo clínico escolhia outro. Entretanto, a divergência nas escolhas acontecia por motivos de preferências pessoais por um determinado recurso. Contudo, apesar das diferenças nas escolhas dos recursos foi possível obter uma boa similaridade entre os dois resultados.

Apesar da dificuldades encontrada com relação às restrições de ambientes e preferências pessoais, no que se propõe o modelo computacional, pode-se afirmar que os resultados alcançados com os experimentos realizados no CC são satisfatórios demonstrando que o modelo computacional é perfeitamente possível de ser aplicado em ambientes hospitalares.

5 *Considerações Finais*

Finalizando os trabalhos da elaboração do modelo teórico e computacional foi possível realizar uma avaliação sistêmica dos objetivos propostos para a resolução do problema. O delineamento dos objetivos se deram após um período de estudo do problema e de diversos cenários que envolvem ambientes hospitalares para interagir com o problema, traçar as metas e identificar as tecnologias aplicáveis na resolução do problema proposto.

A decisão pela utilização de técnicas de restrições na elaboração do modelo para a configuração de planos de *workflow* foi motivado pela natureza das diversas variáveis e restrições encontrados no ambiente. A modelagem das restrições e o desenvolvimento de procedimentos que aplicassem regras sobre estas restrições apresentou-se como uma solução notável. Nos experimentos realizados em laboratórios utilizando a modelagem de redes de restrições apresentaram bons resultados.

O modelo de restrições demonstrou sua eficácia quando iniciaram-se os trabalhos com dependência temporal entre as atividades. As dependências temporais apresentam uma complexidade considerável devido seu crescente volume de restrições. O modelo estrutural da rede de restrições possibilitou o desenvolvimento de procedimentos capazes de realizar a configuração das atividades controlando todas as variáveis existentes. Os experimentos realizados para comprovar a eficácia deste modelo apresentou ótimos resultados.

A necessidade de ter disponíveis as informações sobre o caminho percorrido no processo de configuração apresentou-se a partir da inclusão no modelo da possibilidade de retração manual de planos de *workflow*. Porém, anteriormente a isso, ainda na modelagem da dependência temporal, percebeu-se que a utilização de uma técnica que disponibilizasse um contexto auxiliaria no processo de *backtracking*. A utilização do JTMS apresentou-se como uma boa solução para manutenção de contexto por ser uma técnica relativamente simples e dispor de bons mecanismos de controle. A partir da modelagem de uma estrutura JTMS é possível realizar tanto os *backtrackings* quanto a retração manual de planos aplicando pequenos ajustes. Por ser uma estrutura de dados simples e muito parecido

com grafos esta técnica apresentou ótimos resultados nos experimentos realizados.

A apresentação apenas de um modelo teórico não seria suficiente para alcançar os objetivos propostos, então foi realizado a implementação de um protótipo capaz de representar computacionalmente o modelo teórico. O protótipo disponibiliza a implementação das estruturas de dados, procedimentos, modelos de redes de restrições, modelo de dependência temporal. Através do protótipo foi possível realizar experimentos que comprovaram a eficácia do modelo teórico proposto.

Apesar do modelo, de um modo geral, ter apresentado bons resultados, em alguns aspectos constatou-se deficiências. Os experimentos demonstraram que determinadas circunstâncias não foram previstas e, foram descobertas apenas na validação, com a situação onde um ator desempenhava mais de uma função ao mesmo tempo. Apesar de isso ser comum, esse requisito não havia sido programado e acabou gerando uma deficiência no modelo. É necessário que o modelo adapte-se automaticamente a uma flexibilidade e consiga agrupar mais de uma atividade para um mesmo recurso em um determinado tempo.

5.1 Contribuições do trabalho

Este trabalho contribuiu para a disseminação de tecnologias diferenciadas na resolução de problemas de agendamentos. É notada uma certa carência de soluções tecnológicas deste cunho para unidades hospitalares e este trabalho trouxe para o ambiente hospitalar uma realidade que já é bem difundida em manufatura. O enfoque de tecnologias utilizadas em modelos para resolver problemas de manufatura são diferentes daquelas apresentadas neste trabalho. Comumente, para a resolução de problemas similares a este em manufatura, são utilizadas outras tecnologias. A tecnologia de planejamento e configuração é uma área que está há um tempo no esquecimento e, apesar de terem aplicação na resolução de problemas de agendamento, são pouco utilizadas para estes fins.

As contribuições que este trabalho apresentou podem ser divididas em duas categorias, tecnológico e social. Tecnicamente, a maior contribuição foi a aplicação de uma tecnologia simples e, que não tem a tradição de ser utilizada em resolução de problemas de agendas, para resolver um problema complexo e carente de soluções na área médica. Do ponto de vista social, a contribuição veio através da abertura de portas em uma instituição de renome como o Hospital Universitário para experimentos de uma tecnologia que poderá auxiliar muito, tanto a comunidade médica quanto a comunidade usuária. Estima-se

que o desenvolvimento de ferramentas bem elaboradas utilizando tais tecnologias terão grande contribuição otimizando e melhorando a utilização de recursos e melhorando o atendimento aos usuários.

5.2 Dificuldades encontradas

As dificuldades encontradas durante a elaboração trabalho podem ser caracterizadas em nível de elaboração do modelo e avaliação dos experimentos. O grande volume de variáveis que envolvem esses problemas tornam complexo a avaliação simultânea de todas as possibilidades. Quanto maior o número de variáveis maior a complexidade encontrada na elaboração do modelo e conseqüentemente maior o custo de tempo.

A mesma dificuldade na elaboração do modelo teórico e computacional é estendido para a modelagem de um ambiente ideal para a realização de experimentos. A avaliação do Centro Cirúrgico exigiu empenho em busca por documentos, entrevistas com profissionais, análise do ambiente e observação *in loco* do ambiente.

A interação dos usuários médicos com uma interface computacional não é muito bem aceita entre a comunidade. A automatização e a transparência dos processos é requisito essencial na elaboração de um modelo computacional para uso constante. Existe uma certa resistência pelos usuários em ficar alimentando com dados o modelo computacional. Além da resistência verificou-se que as soluções propostas pelo modelo computacional nem sempre são bem aceitas. As preferências pessoais geralmente são colocadas à frente das racionais. Neste caso é necessário que o modelo computacional seja flexível a ponto de adaptar-se a estes fatores.

5.3 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros pode ser sugerido temas de continuidade para conclusão do protótipo e novos requisitos que foram levantados durante a realização dos experimentos. Apesar de ter sido realizado experimentos de avaliação, seria ideal para uma avaliação por um tempo maior e com mais interação com os usuários enfermeiros que poderão revelar dados e requisitos preciosos para complementação do modelo.

A integração do modelo computacional com outras ferramentas administrativas e de

prontuário de paciente é uma possibilidade que tornaria a utilização do modelo transparente ao usuário. Evitando que o usuário tivesse que utilizar mais uma ferramenta e reduzindo a resistência de utilização. Melhoramento do modelo atual acrescentando outros requisitos como a realização de mais de uma atividade no mesmo instante por um recurso e flexibilidades para escolhas assistidas pelos usuários também contribuiriam para melhorar a interação com o usuário.

Atualmente o modelo só possui características reativas e todas as ações devem ser indicadas para serem realizadas. Funções de pró-atividade podem ser acrescentadas ao modelo para que o mesmo identifique situações onde podem ser iniciados procedimentos de re-configuração de planos ou re-organização da agenda. Estas situações podem ocorrer sempre que algum recurso se tornar indisponível, por exemplo.

Referências

BARRETT, A.; WELD, D. S. *Partial-Order Planning: Evaluating Possible Efficiency Gains*. [S.l.], 1992. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/barrett93partialorder.html>.

BETTINI, Claudio; WANG, X. Sean; JAJODIA, Sushil. Temporal reasoning in workflow systems. *Distrib. Parallel Databases*, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 11, n. 3, p. 269–306, 2002. ISSN 0926-8782.

BLAKE, M. *Agent-Based Communication for Distributed Workflow Management using Jini Technologies*. 2003. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/blake03agentbased.html>.

CASATI, Fabio; CASTANO, Silvana; FUGINI, Mariagrazia; MIRBEL, Isabelle; PERNICI, Barbara. Using patterns to design rules in workflows. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 26, n. 8, p. 760–785, 2000. ISSN 0098-5589.

CASATI, Fabio; CERI, Stefano; PERNICI, Barbara; POZZI, Giuseppe. Workflow evolution. In: *International Conference on Conceptual Modeling / the Entity Relationship Approach*. [s.n.], 1996. p. 438–455. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/article/casati96workflow.html>.

DADAM, P.; REICHERT, M.; KUHN, K. *Clinical Workflows - The Killer Application for Process-oriented Information Systems*. 1997. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/dadam97clinical.html>.

DOYLE, Jon. A truth maintenance system. *Artif. Intell.*, v. 12, n. 3, p. 231–272, 1979.

DOYLE, J. A truth maintenance system. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, p. 259–279, 1987.

FABER, Kerstin; KRECHEL, Dirk; REIDENBACH, Daniel; WANGENHEIM, Aldo von; WILLE, P. R. Modelling of radiological examinations with pokmat, a process oriented knowledge management tool. In: *AIME '01: Proceedings of the 8th Conference on AI in Medicine in Europe*. London, UK: Springer-Verlag, 2001. p. 409–412. ISBN 3-540-42294-3.

FIKES, Richard; NILSSON, Nils J. Strips: A new approach to the application of theorem proving to problem solving. In: *IJCAI*. [S.l.: s.n.], 1971. p. 608–620.

FOX, Mark S.; SADEH, Norman M.; BAYKAN, Can A. Constrained heuristic search. In: *IJCAI*. [S.l.: s.n.], 1989. p. 309–315.

GEORGAKOPOULOS, Dimitrios; HORNICK, Mark F.; MANOLA, Frank; BRODIE, Michael L.; HEILER, Sandra; NAYERI, Farshad; HURWITZ, Benjamin. An extended transaction environment for workflows in distributed object computing. *Data Engineering Bulletin*, v. 16, n. 2, p. 24–27, 1993. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/georgakopoulos93extended.html>.

GEPPERT, Andreas; KRADOLFER, Markus; TOMBROS, Dimitrios. Market-based workflow management. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 1402, p. 179–??, 1998. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/geppert97marketbased.html>.

GÜNTER, Andreas. *Flexible Kontrolle in Expertensystemen zur Planung und Konfigurierung in technischen Domänen*. [S.l.]: Infix Verlag, St. Augustin, Germany, 1992. (DISKI, v. 3). ISBN 3-929037-03-3.

HAIMOWITZ, Ira J.; FARLEY, James; FIELDS, Glenn S.; STILLMAN, Jonathan; VIVIER, Barbara J. Temporal reasoning for automated workflow in health care enterprises. In: *Proceedings of the Workshop at NIST on Electronic Commerce, Current Research Issues and Applications*. London, UK: Springer-Verlag, 1996. p. 87–113. ISBN 3-540-60738-2.

HANNEBAEUR, M. *From formal Workflow models to Intelligent Agents*. 1999. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/251897.html>.

HEIMANN, Peter; JOERIS, Gregor; KRAPP, Carl-Arndt; WESTFECHTEL, Bernhard. Dynamite: dynamic task nets for software process management. In: *ICSE '96: Proceedings of the 18th international conference on Software engineering*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1996. p. 331–341. ISBN 0-8186-7246-3.

JIN, Li jie; CASATI, Fabio; SAYAL, Mehmet; SHAN, Ming-Chien. Load balancing in distributed workflow management system. In: *SAC '01: Proceedings of the 2001 ACM symposium on Applied computing*. New York, NY, USA: ACM Press, 2001. p. 522–530. ISBN 1-58113-287-5.

JOOSTEN, Stef; PURAO, Sandeep. A rigorous approach for mapping workflows to object-oriented is models. *J. Database Manag.*, v. 13, n. 4, p. 1–19, 2002.

KAPPEL, Gerti; RAUSCH-SCHOTT, S.; RETSCHITZEGGER, Werner. Coordination in workflow management systems - a rule-based approach. In: *Coordination Technology for Collaborative Applications*. [s.n.], 1996. p. 99–120. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/kappel97coordination.html>.

KLARMANN, Jürgen. *Using Conceptual Graphs for Organization Modeling in Workflow Management Systems*. 2001.

KNOBLOCK, Craig A.; MINTON, Steven; AMBITE, Jose Luis; MUSLEA, Maria; OH, Jean; FRANK, Martin. Mixed-initiative, multi-source information assistants. In: *World Wide Web*. [s.n.], 2001. p. 697–707. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/article/knblock01mixedinitiative.html>.

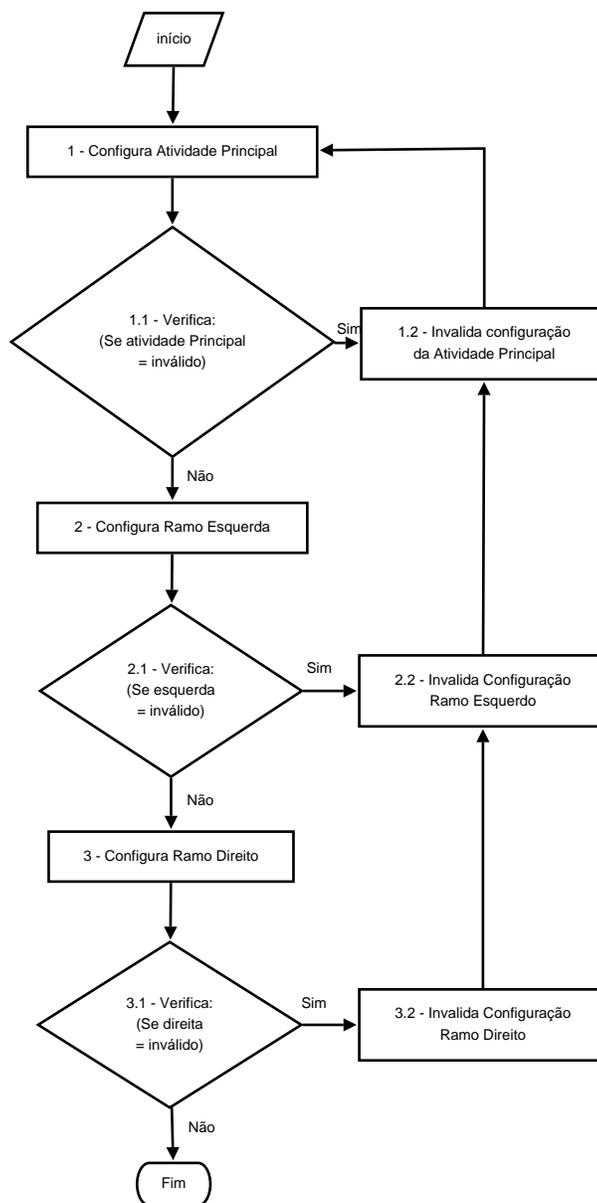
KUMAR, Vipin. Algorithms for constraint-satisfaction problems: A survey. *AI Magazine*, v. 13, n. 1, p. 32–44, 1992.

KUMAR, Vipin. Algorithms for constraint-satisfaction problems: A survey. *AI Magazine*, v. 13, n. 1, p. 32–44, 1992. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/article/kumar92algorithms.html>.

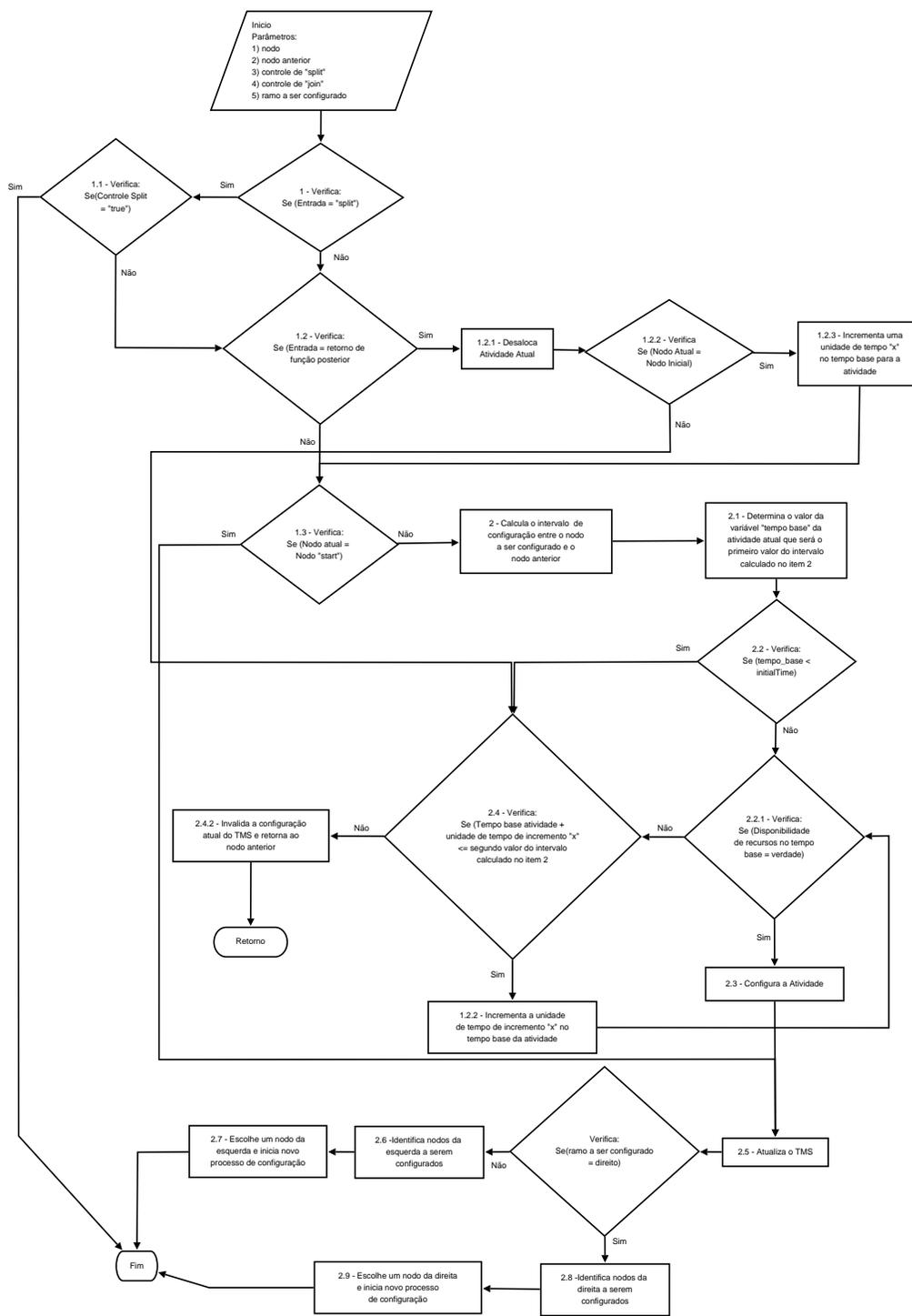
- MCALLESTER, David. Truth maintenance. In: SMITH, Reid; MITCHELL, Tom (Ed.). *Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence*. Menlo Park, California: AAAI Press, 1990. v. 2, p. 1109–1116. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/mcallester90truth.html>.
- PETRIE, Charles J. Revised dependencydirected backtracking for default reasoning. In: *AAAI*. [S.l.: s.n.], 1987. p. 167–172.
- PETRIE, Charles J. *Scheduling with REDUX: A Technology for Replanning*. [S.l.], 1990.
- PETRIE, Charles J. Context maintenance. In: *AAAI*. [S.l.: s.n.], 1991. p. 288–295.
- PETRIE, Charles J. *Planning and Replanning with Reason Maintenance*. [S.l.], 1991.
- PLESUMS, Charles. Introduction to workflow. In: *The Workflow Handbook 2002*. Lighthouse Point, FL, USA: Future Strategies Inc., 2002. p. 20–38. ISBN 0-9703509-2-9.
- RIBEIRO, Manassés; ANDRADE, Rafael; WANGENHEIM, Aldo von. Workflow server: Uma proposta para um modelo de um servidor de fluxo de atividades médico-hospitalar. *WIM*, 2005.
- RIBEIRO, Manassés; PEREIRA, Luiz Fernando; WANGENHEIM, Aldo von. Aplicação de configuração em sistema de gerenciamento de workflow hospitalar. In: *Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software V*. [S.l.]: SBQS, 2006.
- RICHTER, Michael M.; WESS, Stefan. Similarity, uncertainty and case-based reasoning in patdex. In: *Automated Reasoning: Essays in Honor of Woody Bledsoe*. [S.l.: s.n.], 1991. p. 249–266.
- ROSSI, Francesca; PETRIE, Charles J.; DHAR, Vasant. On the equivalence of constraint satisfaction problems. In: *ECAI*. [S.l.: s.n.], 1990. p. 550–556.
- RUSSEL, Stuart; NORVING, Peter. *Artificial Intelligence - A Modern Approach*. [S.l.: s.n.], 1995.
- SCHIIRR, A. *Rapid programming with graph rewrite rules*. 1994. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/schiirr94rapid.html>.
- TOMBROS, Dimitrios; GEPPERT, Andreas; DITTRICH, Klaus R. Design and implementation of process-oriented environments with brokers and services. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, p. 197–216, 1996.
- TOMBROS, Dimitris; GEPPERT, Andreas; DITTRICH, Klaus R. Semantics of reactive components in event-driven workflow execution. In: *Conference on Advanced Information Systems Engineering*. [s.n.], 1997. p. 409–422. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/tombros97semantic.html>.
- WELLMAN, Michael P.; DOYLE, Jon. Modular utility representation for decision-theoretic planning. In: HENDLER, James (Ed.). *Artificial Intelligence Planning Systems: Proceedings of the First International Conference (AIPS 92)*. College Park, Maryland, USA: Morgan Kaufmann, 1992. p. 236–242. ISBN 1-55860-250-x. Disponível em: <citeseer.ist.psu.edu/wellman92modular.html>.
- WFMC. *The Workflow Management Coalition*. mar 2007. [Http://www.wfmc.org](http://www.wfmc.org).

*APÊNDICE A - Representação
Gráfica dos Algoritmos de
Configuração com Dependência
Temporal*

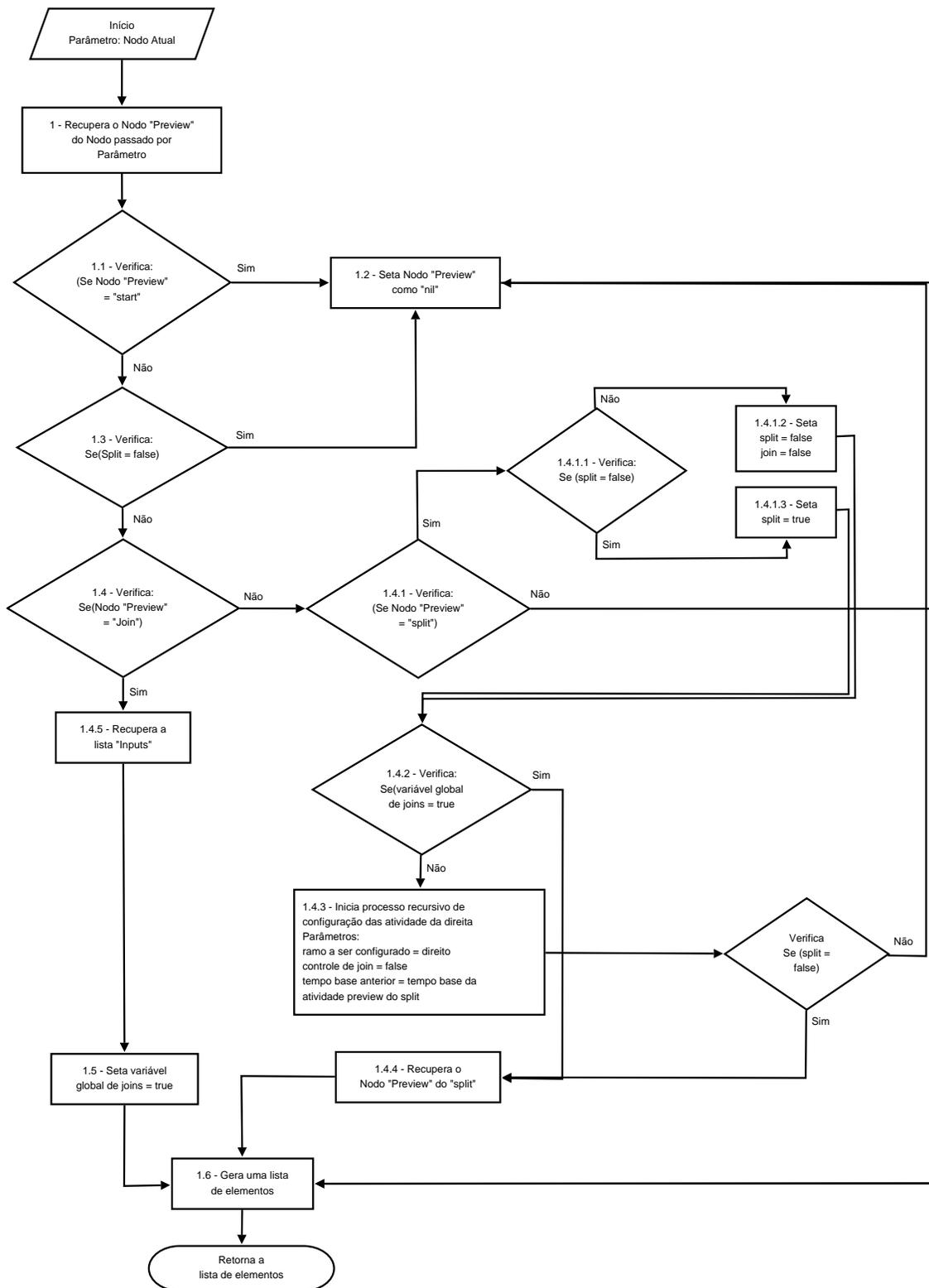
Representação gráfica do algoritmo geral de configuração



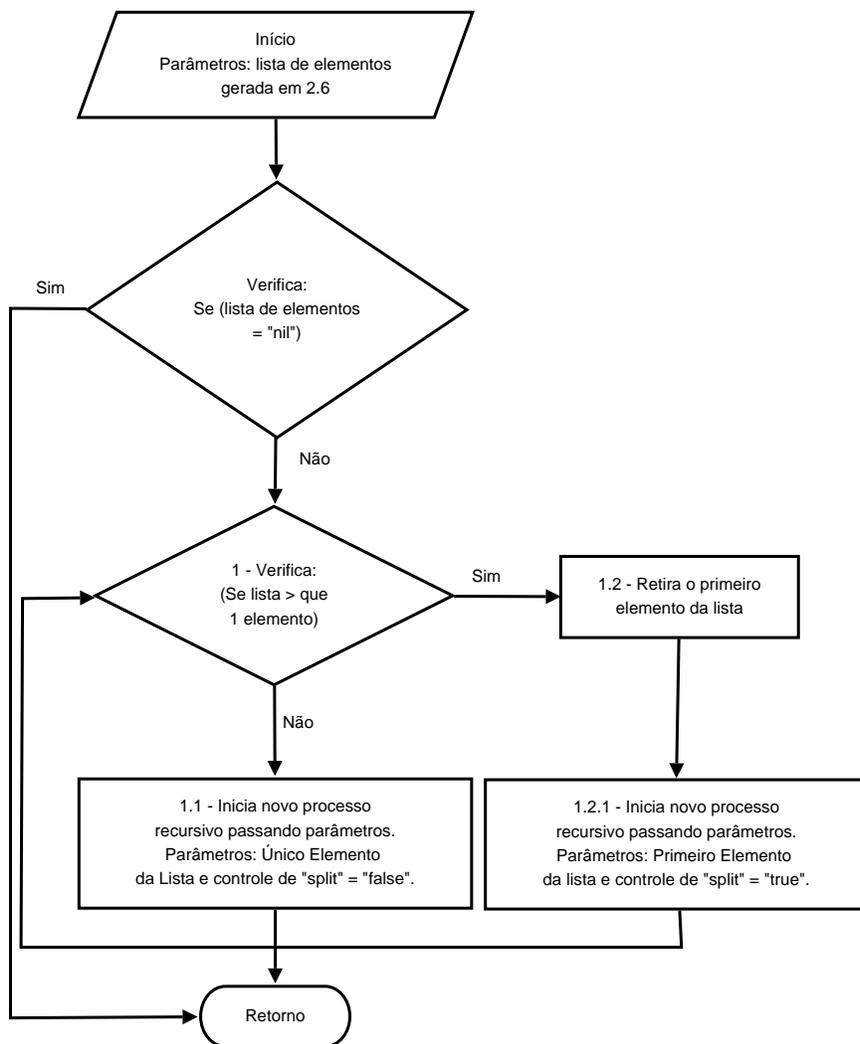
Representação gráfica do algoritmo de configuração de atividades



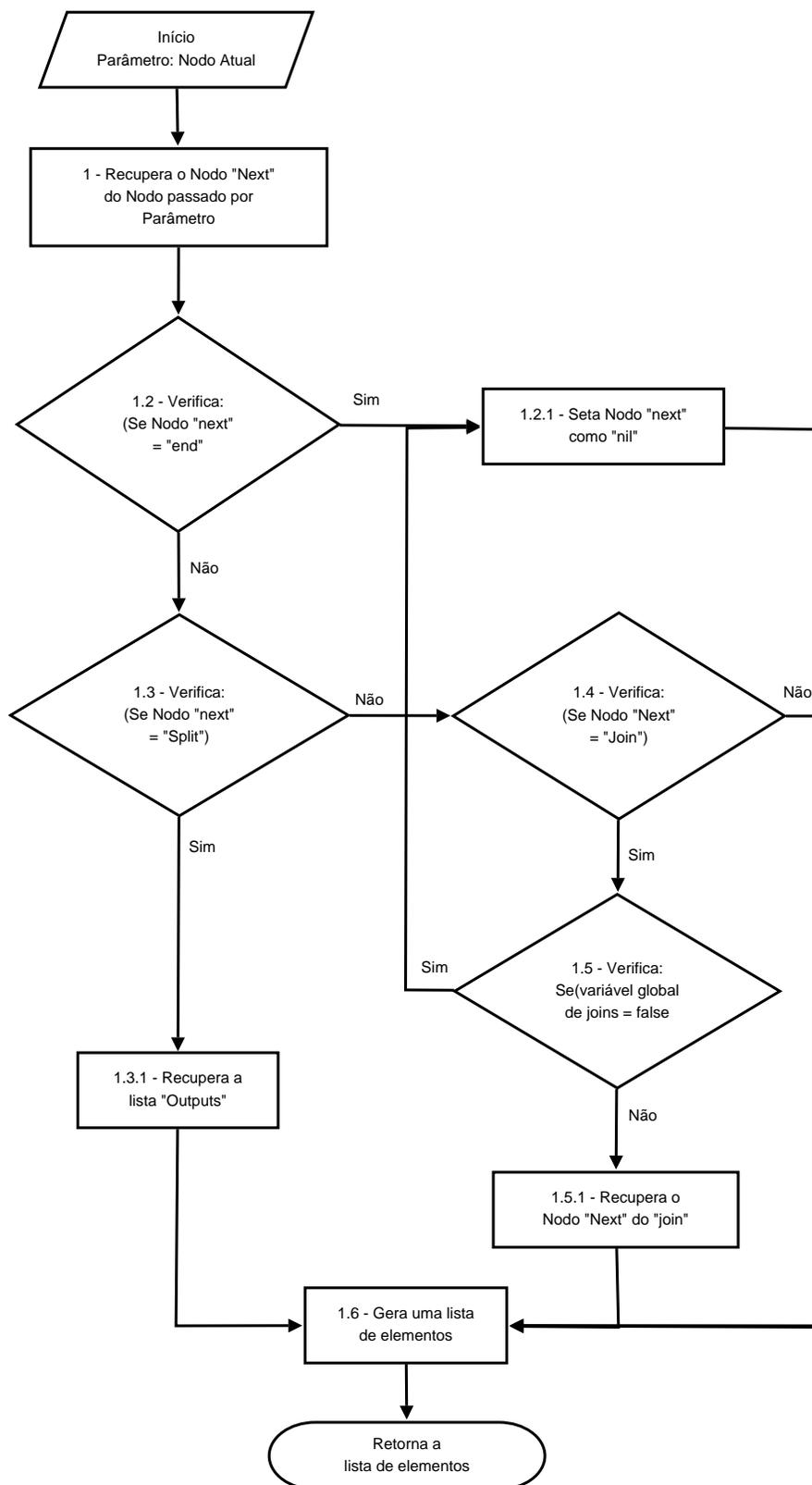
Representação diagrama 2.6



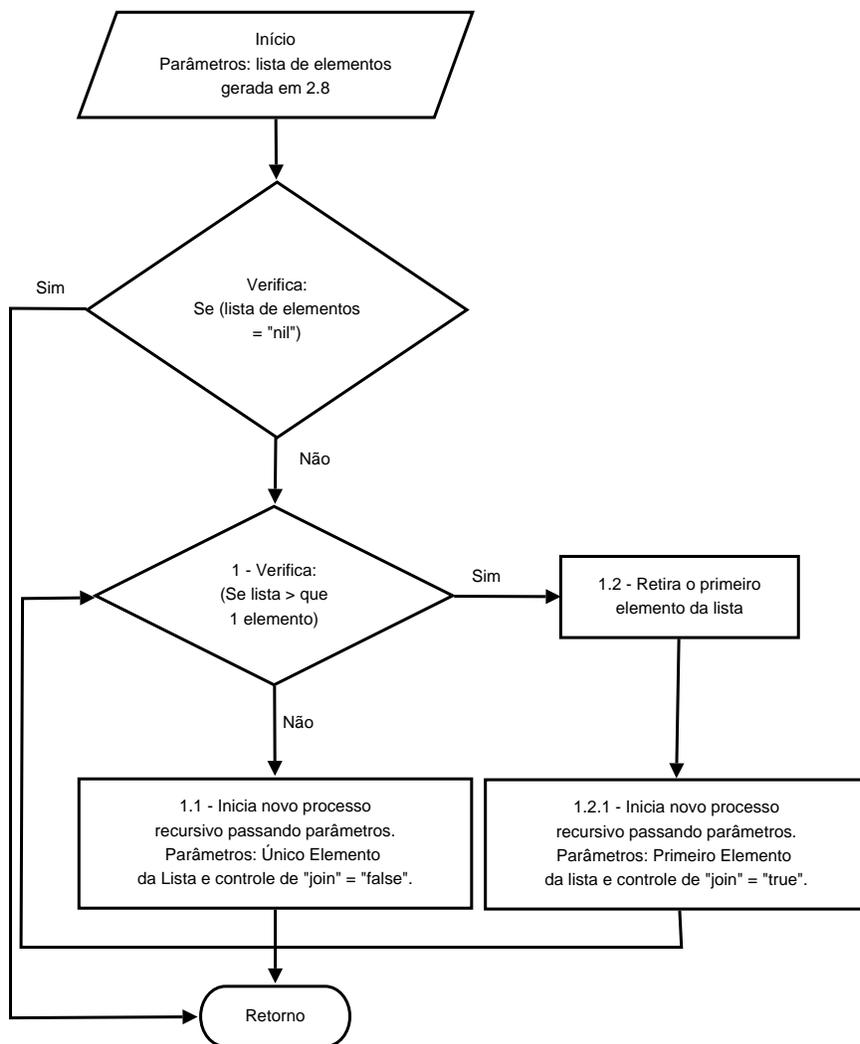
Representação diagrama 2.7



Representação diagrama 2.8



Representação diagrama 2.9



APÊNDICE B - Servidor de Workflow

Protocolo de comunicação

Estrutura responsável pela troca de mensagens entre clientes e servidor, por estabelecer as associações que mantém o controle sobre as conexões, bem como, definir protocolo para a troca de mensagens. A mensagem segue um padrão de codificação binário e é dividida em duas partes: *cabeçalho* e *mensagem de dados*. O cabeçalho é composto por sessenta e quatro *bits* divididos entre controle de seção, serviços de comunicação, tamanho da mensagem e *bits* não utilizados reservados para futuras expansões (figura 15).

Os serviços de comunicação são baseados em cinco primitivas: requisição de conexão (RQC), resposta da conexão (RSC), requisição de desconexão (RQD), resposta de desconexão (RSD) e envio de dados (TRD), tais primitivas são compostas por cinco *bits*. Para solicitar uma conexão o cliente envia uma mensagem com o pedido RQC para o servidor. Uma vez autorizada a conexão o servidor retorna ao cliente uma mensagem de resposta RSC. A partir de então, o cliente começa a transferência de dados para o servidor com a mensagem TRD. Finalizando a transferência, o cliente envia ao servidor uma mensagem RQD solicitando que seja realizada a desconexão com o servidor. O servidor, por sua vez, irá responder com uma mensagem de desconexão RSD. A figura 14 apresenta graficamente os serviços de conexão, desconexão e envio de dados.

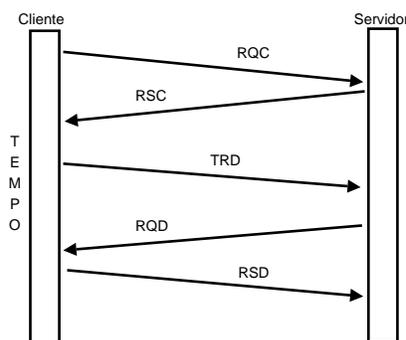


Figura 14: Representação gráfica dos serviços de conexão, envio de dados e desconexão

O controle de seção (*session handle*) é responsável por identificar o cliente com o qual o servidor está mantendo comunicação. O controle de seção é um identificador único

para cada seção iniciada, que é controlada exclusivamente pelo protocolo de comunicação. Para o controle de seção são utilizados 16 *bits* do cabeçalho. A informação que contém o tamanho total da *mensagem de dados* é o item tamanho da mensagem. Para a codificação desta informação são utilizados 32 *bits* do cabeçalho da mensagem. As primitivas de conexão são responsáveis por identificar qual o tipo de mensagem que está sendo trocado entre o cliente e o servidor. As primitivas estão demonstradas na tabela 17.

Descrição	Primitivas		Binário
Transferência de dados	TRD	2^0	00001
Resposta de desconexão	RSD	2^1	00010
Requisição de desconexão	RQD	2^2	00100
Resposta de conexão	RSC	2^3	01000
Requisição de conexão	RQC	2^4	10000

Tabela 17: Primitivas de Conexão

Além dos itens apresentados, existem 11 *bits* no cabeçalho da mensagem que estão destinados para futuras expansões do protocolo e atualmente este espaço não está em uso. Por fim, a mensagem é complementada com os dados que irá transportar. Atualmente a capacidade de transporte de dados limita-se a 32 *bits* (2^{32}) onde cada *bit* representa um *byte* de dados. Assim, a capacidade total da mensagem é de 4.294.967.296 *bytes* ou 4 Gb. A representação gráfica da mensagem está apresentada na figura 15 demonstrando seus componentes de cabeçalho.

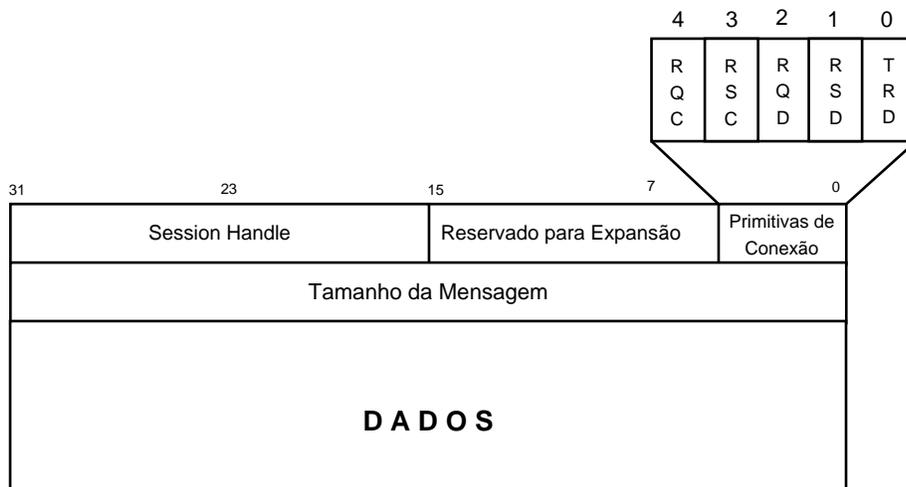


Figura 15: Representação gráfica da mensagem

Apresentação dos dados

Esta é uma camada do servidor, pertencente ao protocolo de comunicação, responsável por receber e interpretar os dados contidos no item *mensagem de dados*. A partir da interpretação destes dados são identificadas outras informações que serão repassadas às camadas superiores do servidor. A mensagem de dados é composta por um cabeçalho formado por 32 bits, contendo informações de controle e os dados referentes ao par objeto-serviço.

O par objeto-serviço refere-se a um objeto sobre o qual deverá ser aplicado um serviço e espera-se obter um resultado. O item serviço, é representado no cabeçalho por 11 *bits* e o objeto tem sua limitação não podendo ser maior que o tamanho total da mensagem, descontando o tamanho dos cabeçalhos da mensagem e mensagem de dados. Além do par objeto-serviço, o cabeçalho é composto por dois outros itens: tipo de objeto, que é representado por 5 *bits*, e um espaço reservado para expansão do protocolo representado por 16 *bits*.

O item *tipo do objeto* identifica qual o domínio da informação contida no objeto da mensagem, pois, os dados contido no objeto poderão conter dados de diversas origens. Em alguns procedimentos existe a necessidade de se identificar o domínio da informação contida no objeto, e esta informação já poderá vir representada no cabeçalho da mensagem de dados. Os referidos dados podem ser de diversos domínios, tais como: imagens, arquivos texto, arquivos de dados de imagens médicas e diversos outros. O item que completa o cabeçalho refere-se a um espaço reservado para futuras expansões do protocolo. A figura 16 apresenta uma representação gráfica da *mensagem de dados* com todos os itens que a compõem.

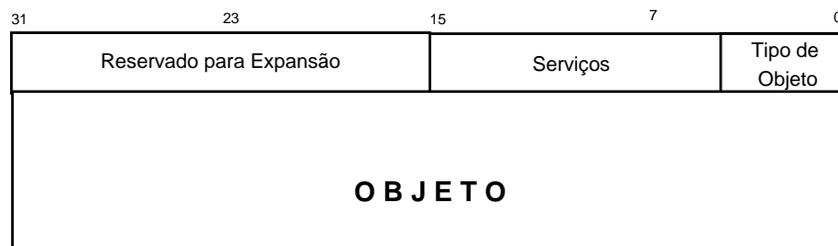


Figura 16: Representação gráfica da *mensagem de dados*

Protocolo de mensagens de serviços de *workflow*

O modelo propõe expandir os serviços previstos no padrão WfMC para contemplar a aplicação de configuração em ambientes dinâmicos, incluindo a codificação dos serviços e o conceito do par objeto-serviço. As solicitações que chegam aqui têm o objetivo de realizar uma ação dentro do servidor e prover o resultado ao cliente. O protocolo de mensagem de serviços de *workflow* é responsável por introduzir no servidor as solicitações requisitadas pelos clientes, decodificando o par objeto-serviço e, a partir de então, executar ações correspondentes.

Os serviços de *workflow* são representados através de codificações binárias, fazem parte do protocolo de mensagens de serviços de *workflow* e estão contidos dentro da mensagem de dados. Os serviços formam parcerias com o item objeto, que representa um dado com o qual se deseja executar uma ação. Exemplificando, a partir da existência de uma codificação em arquivo XML de uma definição de processos, deseja-se aplicar tal definição no servidor de *workflow* para que esteja disponível para que sejam executadas instâncias destes processos. A partir dos dados da codificação XML da definição de processos, aplica-se um serviço responsável por executar a ação de deixá-lo disponível no servidor. A associação dos dados representados pela definição de processos com o serviço responsável pela aplicação do mesmo no servidor representa o par objeto-serviço.

Os dados contidos no *objeto* podem representar qualquer domínio de informação, entretanto, devem estar diretamente relacionados ao objetivo do serviço. O objeto pode conter desde um parâmetro, do qual se deseja recuperar informações, como pode conter informações complexas, como exemplo, imagens médicas obtidas por um exame tomográfico. Os serviços são representados, cada qual, por um código binário e estão divididos em diversas categorias de domínios da informação, dentro do modelo representando. Os serviços seguem, em sua maioria, o padrão descritos pela WfMC(WfMC, 2007), entretanto, existem serviços que foram adicionados ao modelo para contemplar a expansão proposta para utilização em ambientes hospitalares.

APÊNDICE C - Artigos Publicados sobre o Tema

Aplicação de configuração em sistemas de gerenciamento de *workflow* hospitalar

Artigo publicado em 2006 no anais do V Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software pertencente ao evento VI Workshop de Informática Médica (WIM 2006).

Aplicação de Configuração em Sistema de Gerenciamento de Workflow Hospitalar

Manassés Ribeiro¹, Luiz Fernando Pereira¹, Aldo von Wangenheim¹

¹Laboratório de Telemedicina – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis – SC – Brasil

{manasses, luizfsp, awangenh}@inf.ufsc.br

Abstract. *Hospital workflows plans configuration maintenance and resources allocation procedures can be considered complex tasks. Environments hospital are characterized by difficult to using shared resources that presents limited availability, high utilization demand and management difficult. In this work we will present methodologies to resources allocations management through heuristics and configurations mechanisms. Finally, we will presents results experiments gotten by prototypes implemented using concepts here presented. We will presents works summary that continue in progress by group.*

Resumo. *A manutenção de configurações de planos de workflows hospitalares, bem como, procedimentos de alocações de recursos podem ser consideradas tarefas complexas. Os ambientes hospitalares, caracterizam-se pela dificuldade ocasionada pela má utilização de recursos compartilhados os quais apresentam disponibilidade limitada, alta demanda de utilização e dificuldade no gerenciamento. Nesse trabalho será apresentado uma metodologia para o gerenciamento das alocações de recursos através de heurísticas e mecanismos de configurações. Por fim, serão apresentados resultados obtidos com experimentos realizados através de protótipos implementados utilizando os conceitos apresentados, bem como, a apresentação resumida dos trabalhos que continuam em andamento.*

1. Introdução

Processos em ambientes hospitalares são caracterizados pela sua natureza dinâmica. Gerenciar e controlar atividades de saúde não é uma tarefa simples. Essa dificuldade é visível em uma visita ao setor de clínica médica da maioria dos hospitais públicos no Brasil. Diante desse cenário, a utilização de sistemas de gerenciamento de *workflow*¹ apresenta-se como uma solução viável.

Segundo a WfMC²[WfMC 2005], o termo *workflow* visa a automação de um processo de negócios. O conceito de *workflow* propõe representar e manusear informações sobre as atividades em um contexto de negócios, favorecendo o gerenciamento e a reengenharia.

Em uma situação em que uma cirurgia está para ser realizada, uma série de recursos foram previamente reservados, respeitando-se uma política de regras que considera fatores, como: horários, logística, habilidades dos atores, características dos equipamentos, entre outras. A todo instante estão ocorrendo eventos que podem vir a inviabilizar a realização da cirurgia em determinadas circunstâncias. Com um sistema inteligente de gerenciamento de alocações em *workflows* dinâmicos, seria possível obter, em tempo hábil, uma nova configuração de todos os recursos utilizando o tempo da melhor maneira possível.

O estudo de técnicas e metodologias para executar configuração de planos de *workflows* justifica-se pela má utilização dos recursos hospitalares. Esse estudo poderá contribuir para um melhor atendimento a pacientes e profissionais da área médica, bem como, em uma melhor utilização dos recursos hospitalares. Está contribuição poderá apresentar maiores resultados especialmente em hospitais públicos onde existem uma grande competição por poucos recursos.

Configura-se como objetivo principal deste trabalho o desenvolvimento de uma metodologia para promover, de maneira automatizada e racionalizada, o gerenciamento das alocações de recursos. Esse gerenciamento dar-se-á entre as atividades de processos hospitalares materializando-se na forma de um mecanismo de configuração e controle de agendamentos. Especificamente os objetivos dividem-se na criação de um modelo computacional possível de representar, de maneira genérica, o cenário e a dinâmica de um processo de hospitalar. Definir uma metodologia para o mecanismos de controle de agendamentos. Aplicação de heurísticas para alocação de recursos ao algoritmo de configuração de *workflows*.

¹Em português, fluxo de trabalho

2. Materiais e Métodos

2.1. Configurações de Planos de Workflows e Controle de Agendamentos

A escolha dos recursos que serão agendados para cada atividade do processo depende de alguns fatores relativos ao estado corrente do universo do problema. Para que seja definida a melhor seqüência de ações possível, é necessário que sejam avaliadas todas as características de cada uma delas para que, de acordo com a necessidade, sejam selecionadas as mais apropriadas. Essa escolha parametrizada do elemento apropriado dentre um conjunto de vários possíveis é desempenhada através de um mecanismo de configuração [Petrie et al. 1987] e [Petrie 1990].

As técnicas de configurações caracterizam-se por buscas sucessivas a uma base de conhecimento extensa, porém finita e bem definida acerca de cada elemento constante no universo do problema [Richter 2001]. Cada um desses elementos possui um conjunto de atributos que visa atender ou não a um conjunto de requisitos. Com base em heurísticas³, é eleito o elemento que melhor atende à necessidade em dada situação [Petrie 1991b], [Richter 2001] (Figura 1).



Figura 1: Fluxograma do algoritmo de configuração[Richter 2001]

No modelo proposto, os recursos são alocados aos *workflows* por meio de ações denominados “operadores”, correspondentes a objetivos “metas” de, basicamente, dois tipos: metas de alocação em nível de processo WCG⁴ e metas de alocação em nível de atividade ACG⁵. A primeira é necessária para que o fluxo de execução do processo seja percorrido. A segunda classe de metas de alocação é responsável por promover, para cada atividade isoladamente, o agendamento dos recursos.

Sendo assim, uma meta do tipo WCG é responsável por identificar cada atividade ao longo do fluxo, derivando, para cada uma delas, sua respectiva meta de alocação de recursos ACG. O algoritmo que percorre o fluxo possui, naturalmente, uma característica recursiva de execução que lhe dá a flexibilidade necessária para a resolução do problema (Figura 2).

```

[Método percorra (umWorkflowComponent) ]
se umWorkflowComponent é uma Activity, então:
  reduzaMeta (ActivityConfigurationGoal (umWorkflowComponent) );
  percorra (umWorkflowComponent.proximo);
Senão:
  percorra (umWorkflowComponent.proximo);
fim-se;
  
```

Figura 2: Algoritmo de Configuração de Workflow

Um dos requisitos do modelo apresentado diz respeito ao gerenciamento inteligente dos recursos, com relação à sua disponibilidade temporal. Para tanto, fez-se necessário o desenvolvimento de um conjunto de heurísticas que possibilite a realização de um controle adequado dos agendamentos.

Essas heurísticas são responsáveis por evitar que dois ou mais recursos sejam alocados à mesma atividade em horários conflitantes, além de indicar o horário mais adequado, caso o período desejado esteja totalmente preenchido. As heurísticas fornecem, também, recursos para testes de disponibilidade, que avaliam se um recurso está disponível ou não em dado período de tempo [Fox et al. 1989].

2.2. Aplicação de Heurísticas em Alocações

A meta de configuração de atividades ACG é, por sua vez, a que desempenha o agendamento de maneira efetiva. Consiste, basicamente, em uma sucessão de buscas à base de dados com o intuito de filtrar os atores

³Regras lógicas pré-determinadas

⁴Workflow Configuration Goal

e recursos que melhor se enquadram às necessidades apresentadas.

Em uma situação onde se tem um exame radiológico para ser realizado, cujo risco de ocorrência de reações alérgicas demanda a utilização de um equipamento para reanimação cardiovascular e que o médico executor, além de ser especialista em radiologia, disponha de experiência no tratamento de uma possível reação anafilática provocada pelo contraste. A primeira ação, etapa 1, exercida pelo algoritmo de configuração será buscar os aparelhos de raios-X e equipamentos de reanimação disponíveis, bem como selecionar, dentre todos os médicos radiologistas, aqueles que possuem experiência no tratamento emergencial de reações ao contraste.

Após selecionar, embora sem critérios mais específicos, para cada perfil requerido, todos os recursos correspondentes, o algoritmo parte para sua segunda etapa. Na etapa 2 o algoritmo consiste em um laço recursivo e divide-se em outras duas partes. Na etapa 2.1, são selecionados do conjunto somente os recursos disponíveis para alocação durante o período de execução da atividade. Esse procedimento gera um conjunto possivelmente reduzido, descartando os recursos aptos, porém indisponíveis. Na etapa 2.2, aplica-se o critério de decisão, que consiste em alocar, para cada perfil, o recurso que possua o menor número de atributos possível, já que todos os candidatos selecionados até o momento são plenamente aptos para a atividade, e qualquer atributo excedente caracteriza desperdício de recurso.

Como, obviamente, todos os recursos alocados para a atividade devem trabalhar simultaneamente, o algoritmo verifica se todos eles foram alocados para o horário em questão. Caso algum recurso não tenha sido alocado devido a alguma indisponibilidade de tempo, é definido para a atividade um novo horário inicial, posterior ao atual e, com base nele, é repetida a etapa 2. O processo se repete até que seja possível a alocação de todos os recursos necessários (Figura 3).

```
[Método configureAtividade(atividade, horaInicial)]

[etapa1]
  aptos := seleccioneAptos();

[etapa2(horaInicial)]
  [etapa 2.1]
    disponiveis := seleccioneDisponiveis(horaInicial, aptos);
    maisAptos := seleccioneIdeais(disponiveis);
  [etapa 2.2]
    Se encontrouTodos então:
      AloqueRecursos(maisAptos);
    Senão:
      novaHoraInicial := encontreNovaHoraInicial();
      etapa2(novaHoraInicial);
  fim-se;
```

Figura 3: Algoritmo de Configuração de Atividades

2.3. Validação

Para a validação do modelo proposto foi realizado a implementação de um protótipo com base nos métodos apresentados acima. Com a realização de experimentos direcionados foi possível realizar algumas constatações, as quais convergem para algumas conclusões sobre os resultados obtidos. Os experimentos foram realizados com base na modelagem de uma clínica radiológica que dispunha de médicos e equipamentos radiológicos.

Os experimentos foram realizados em duas iterações. Na primeira iteração foram realizadas 200 configurações de *workflows* representando exames de Raio-X, cujo horário inicial variou, aleatoriamente, entre 01/10/2005 00:00h e 09/10/2005 23:59h. Na segunda iteração foram realizadas mais 800 configurações de *workflows* totalizando 1000 configurações no período acima citado. Entende-se por cada configuração o agendamento de recursos para a execução de planos de *workflows*.

3. Resultados

Na primeira iteração, observou-se uma otimização generalizada no aproveitamento dos recursos. Para comprovar esse fato, basta observar as alocações referentes à atividade de laudo, cuja duração é de 30 minutos. Essas alocações são mostradas na figura 4. Dentre os médicos disponíveis na clínica, o ator de nome “Dr. Ribeiro”, graças ao menor número de características excedentes às necessárias, configura-se como o mais apto para realização do laudo, seguido por “Dr. Pereira” e “Dr. Silva”, respectivamente. Os atores de nome “Dr. Ferreira” e “Dr. Teixeira”, por não possuírem todas as características necessárias (Experiência e Radiologia) para realização da atividade, foram descartados pelo algoritmo.

Observando os agendamentos de cada recurso em particular, percebeu-se que, para os recursos mais aptos, há um maior número de alocações. Com isso, concluiu-se que o modelo proposto proporciona, de fato, uma maior disponibilidade por parte dos recursos que possuem um número maior de características

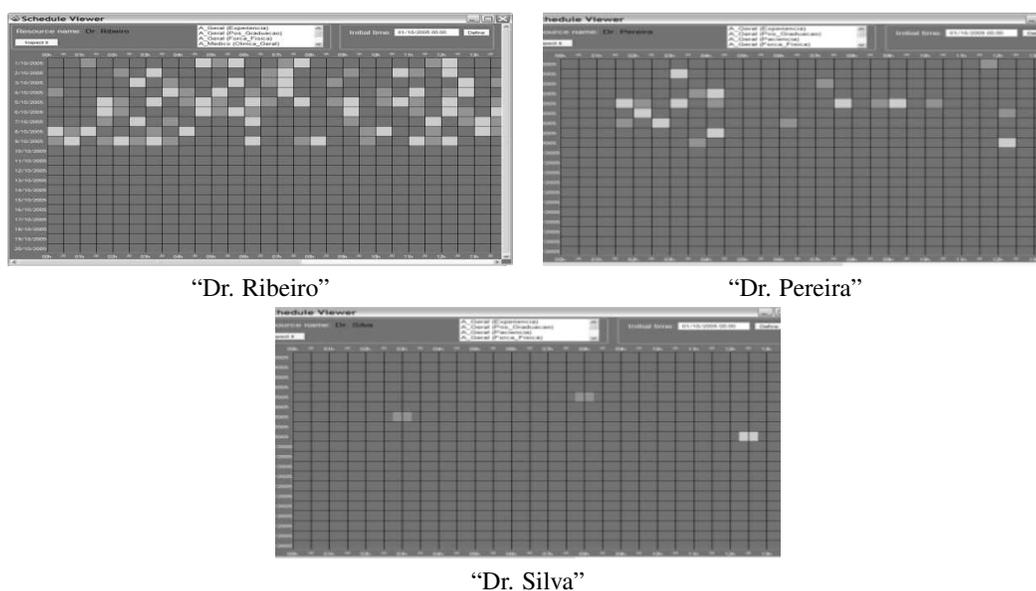


Figura 4: Agendamentos após 200 configurações

Após a realização da segunda iteração, foi possível comprovar a ação do algoritmo de configuração sob um outro aspecto. Observando as imagens, constata-se que “Dr. Ribeiro” encontra-se com sua agenda quase totalmente lotada no período de alocações. O “Dr. Pereira” e, principalmente, “Dr. Silva” encontram-se com mais horários livres significando que, além da melhoria na disponibilidade dos recursos, houve, também, uma otimização do aproveitamento do tempo disponível, minimizando desperdícios em cada um dos recursos no experimento realizado (Figura 5).

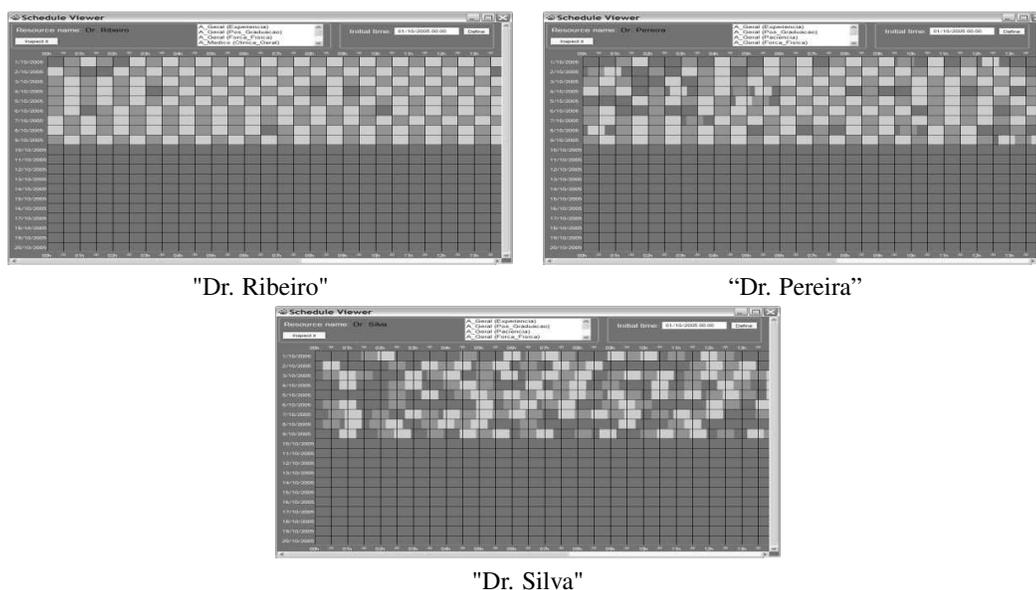


Figura 5: Agendamentos após 1000 configurações

4. Discussões e Trabalhos em Andamento

Após realizados o experimento foi possível concluir a necessidade da resolução de problemas de re-configurações de planos. A re-configuração de planos é necessária quando se tem a necessidade de cancelar, por algum motivo, uma configuração existente. Neste caso, recursos que foram previamente alocados deixarão de estarem alocados e estarão disponíveis para outras alocações. Eventos que haviam sido suspensos ou programados por conta das alocações deverão ser retraiados e re-agendados.

Em uma situação onde um paciente possui secções de fisioterapia agendadas todas as manhãs em

tomografia computadorizada programada. Entretanto, minutos antes da execução do exame de tomografia ocorreu um evento de emergência com outro paciente que necessitaria da utilização do único tomógrafo disponível. Esse evento emergencial irá invalidar o exame previamente agendado que deverá ser retraído ao ponto de marcação de nova data para o exame. Com isto, todos os recursos envolvidos serão liberados e no horário do tomógrafo será configurado o plano do exame emergencial. Contudo, o paciente anterior, terá seu agendamento de tomografia retraído e poderá voltar para a sua seção de fisioterapia que deverá ser re-configurada e deverá ser feita nova configuração de um novo horário para que o paciente realize seu exame de tomografia.

Problemas como esse são corriqueiros em unidades hospitalares ao mesmo tempo que são problemas complexos de serem resolvidos. A resolução desses problemas caracterizam-se pela manutenção de um contexto racional de execução [Petrie 1991a]. Esse contexto irá fornecer subsídios de informações para que possa ser realizado a retração no plano outrora configurado pela MI⁶. Um contexto pode ser considerado como uma rede de restrições⁷ que possuem conjuntos de variáveis que por sua vez possuem um domínio de possíveis valores [Rossi et al. 1990], [Kumar 1992] e [Petrie 1989].

A metodologia proposta, que vem sendo desenvolvida, foi idealizada configurando planos de *workflow* através da MI e utilizando TMS⁸ para a manutenção do contexto racional. A MI interpreta o plano de *workflow* e configura-o baseado em heurísticas previamente definidas. Ao mesmo tempo que é executado a configuração um contexto vem sendo mantido com informações de justificativas sobre as decisões da configuração. O contexto é baseado na metodologia de TMS proposto por Doyle [Doyle 1979].

Pesquisas sobre a utilização de *workflows* aplicados na configuração de atividades médica vem sendo realizadas a um certo período de tempo pelo grupo de pesquisas. Resultados dessas pesquisas vem sendo apresentados em outros trabalhos: [Ribeiro et al. 2004a], [Ribeiro et al. 2004b], [Ribeiro et al. 2005] e [da Silva Pereira et al. 2005].

Referências

- da Silva Pereira, L. F., Ribeiro, M., and von Wangenheim, A. (Outubro, 2005). Aplicação de estratégias para configuração inteligente de atividades em um sistema de gerenciamento de workflow hospitalar. Technical Report TCC CYC LFSP/10/2005.
- Doyle, J. (1979). A truth maintenance system. *Artif. Intell.*, 12(3):231–272.
- Fox, M. S., Sadeh, N. M., and Baykan, C. A. (1989). Constrained heuristic search. In *IJCAI*, pages 309–315.
- Kumar, V. (1992). Algorithms for constraint-satisfaction problems: A survey. *AI Magazine*, 13(1):32–44.
- Petrie, C. J. (1991a). Context maintenance. In *AAAI*, pages 288–295.
- Petrie, C. J. (December, 1991b). Planning and replanning with reason maintenance. Technical Report MCC TR EID-385-91.
- Petrie, C. J. (June, 1989). Reason maintenance in expert systems. Technical Report MCC TR ACA-AI-021-89.
- Petrie, C. J. (October, 1990). Redux: an overview. Technical Report MCC TR ACT-RA-314-90.
- Petrie, C. J., Dhar, V., Steiner, D., and Causey., R. (1987). A planning problem: Revisable academic course scheduling. Technical Report MCC TR AI-136-87.
- Ribeiro, M., Andrade, R., and von Wangenheim, A. (2005). Workflow server: Uma proposta para um modelo de um servidor de fluxo de atividades médico-hospitalar. *WIM*.
- Ribeiro, M., de Biasi, H., and Wagner, H. M. (2004a). Gerenciamento de workflow medico. *Simpósio Catarinense de Processamento de Imagens Digital*.
- Ribeiro, M., Ferreira, L., Andrade, R., and von Wangenheim, A. (2004b). Medical workflow management - uma proposta para o gerenciamento do processo hospitalar utilizando a tecnologia de workflow integrada ao padrão dicom. *Congresso Brasileiro de Computação*.
- Richter, M. (2001). Knowledge based systems introduction. *University of Kaiserslautern*.
- Rossi, F., Petrie, C. J., and Dhar, V. (1990). On the equivalence of constraint satisfaction problems. In *ECAI*, pages 550–556.
- WfMC (2005). The workflow management coalition. <http://www.wfmc.org>.

⁶Máquina de Inferência, em inglês Inference Engine (IE).

⁷Em inglês. Constraint Satisfaction Problem (CSP)

Cyclops Workflow Server: Uma Proposta para um modelo de um servidor de fluxo de atividades médico-hospitalar

Artigo publicado em 2005 no anais do IV Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software pertencente ao evento V Workshop de Informática Médica (WIM 2005).

Cyclops Workflow Server: Uma Proposta para um modelo de um servidor de fluxo de atividades médico-hospitalar

Manassés Ribeiro¹, Aldo von Wangenheim¹, Rafael Andrade¹

¹Laboratório de Telemedicina – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Florianópolis – SC – Brasil

{manasses, awangenh, andrade}@inf.ufsc.br

Abstract. *Our initial motivation to study concerning this domain application was consolidated through difficulty lived for health care institutes. The main hospital difficulties are in treatment of informations and work flow management. The implementation of process management systems requires the use of sustainable technologies. In processes management scene in workflow management information system, the workflow engine is a very important part. This work presents a model to implementation of medical workflow management system engine. Now, our model is in conception phase yet. To necessities validations we are implementing a prototype. However, in future we will make detailed validations to get correct results.*

Resumo. *A consolidada dificuldade vivida pelas instituições de saúde no trato de suas informações e gerenciamento de seus fluxos de trabalho caracterizou a motivação inicial por um trabalho desse domínio. A implementação de sistemas de gerenciamento de processos requer a utilização de tecnologias sustentáveis. O cenário da gerência de processos informatizados é constituído por partes importantes, dentre elas, destaca-se a figura do servidor. O presente trabalho apresenta um modelo, em elaboração, para a implementação de servidores de workflow médico. Para as validações necessárias está sendo desenvolvido um protótipo. Posteriormente deverão ser elaboradas validações criteriosas para se obter resultados concretos.*

1. Introdução

Apesar de toda a disponibilidade de recursos e tecnologia às instituições hospitalares, é comum deparar-se com hospitais que possuam dificuldades em lidar com a gerência de seus processos. Em um estudo realizado no Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina (HU/UFSC) pelo Projeto Cyclops [Cyclops 2005], verificou-se a grande dificuldade encontrada no trato de tais informações. Analisando modelos de processos em unidades hospitalares verifica-se a necessidade de sistemas de gerência de processos. Essa necessidade motivou o estudo de um sistema de gerenciamento de workflows que foi idealizado para suprir as carências desse nicho das instituições hospitalares.

O projeto teve como base fundamental a conformidade, sendo adotado o modelo proposto pela WfMC (*Workflow Management Coalition*), que se ocupa com o tratamento e a definição de processos, viabilizando padronizações e interfaces de comunicação [WfMC 2005]. O modelo proposto está dividido em três partes essenciais: *Workflow Designer*, ferramenta de modelagem de processos, *Workflow Client*, aplicação com a função de prover a interação entre o usuário e o sistema e *Workflow Server*, responsável por todo o gerenciamento e controle do sistema de workflow [Ribeiro 2004].

2. Medical Workflow Management Server

O *Medical Workflow Management Server* é a aplicação responsável pelo gerenciamento de todos os processos oriundos do sistema de workflow. A inspiração para o modelo proposto obteve-se através da consulta à documentação do padrão DICOM 3.0 (*Digital Imaging and Communication in Medicine*). O padrão DICOM foi concebido para o tratamento e comunicação de imagens na medicina. Parte da documentação do padrão trata exatamente da estrutura que compõe um servidor e de como devem funcionar a comunicação, as associações e os serviços aos clientes [NEMA 2004a] [NEMA 2004b]. O padrão DICOM baseia-se em padronizações estabelecidas pelos organismos internacionais ISO [ISO 2005], ANSI [ANSI 2005], IEEE [IEEE 2005], dentre outros.

3. Workflow Server Model

O modelo do *Workflow Server* está dividido em camadas que são responsáveis por funções específicas dentro do servidor. São quatro as camadas que compõem o modelo, sendo que a camada inferior é a de comunicação usando o protocolo TCP/IP. Logo acima, estão as camadas de apresentação de dados e serviços de associações. Diretamente ligada às camadas de apresentação dos dados e serviços de associações está a camada do elemento de serviços de mensagem. Por fim, acima de todas as camadas anteriores está a camada da máquina de inferência do modelo. A figura 1 apresenta o modelo completo, incluindo a camada de rede física e a camada do protocolo TCP/IP (TCP/IP protocol).

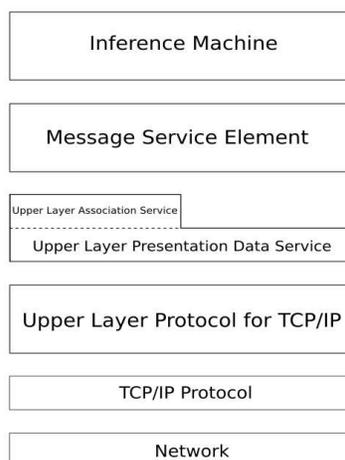


Figura 1. Estrutura do modelo em camadas

3.1. Upper Layer Protocol for TCP/IP

A camada *Upper Layer Protocol for TCP/IP* trabalha logo acima da camada de rede TCP/IP, constituindo a primeira camada do modelo. Essa parte é responsável por fazer contato com o sistema operacional e disponibilizar os meios necessários para que seja feita a comunicação entre cliente e servidor. A estrutura básica dessa camada divide-se em dois serviços: *SocketProvider* e *SocketUser*. O serviço *SocketProvider* provê a possibilidade dos clientes conectarem-se ao servidor e enviarem suas mensagens. O serviço *SocketUser*, por sua vez, provê a possibilidade do servidor conectar-se aos clientes e responder às mensagens.

3.2. Upper Layer Presentation Data Service e Upper Layer Association Service

Toda a comunicação dos clientes chega ao servidor através de um canal de comunicação disponibilizado pelo serviço de associação e representado pela sub-camada *Upper Layer Association Service*. Para todo cliente conectado ao servidor existe, uma associação individual que o mesmo solicitou sua liberação através de um serviço específico. A solicitação é enviada à camada *Upper Layer Presentation Data Service*, que após verificações necessárias, disponibiliza a associação. Cabe a sub-camada *Upper Layer Association Service* o dever de receber do cliente as mensagens e repassá-las a camada *Message Service Element*. Também é de responsabilidade da sub-camada *Upper Layer Association Service* enviar ao cliente as mensagens de retorno. Já à camada *Upper Layer Presentation Data Service* cabe a responsabilidade de gerência das associações ativas no servidor.

3.3. Message Service Element

A estrutura das mensagens que chegam ao servidor consiste em um serviço e um objeto que, juntos, compõem um par serviço-objeto. A camada *Message Service Element* é responsável por identificar qual serviço está sendo solicitado para o objeto e executar os procedimentos cabíveis. Com exceção dos serviços de associação, todos os outros serviços serão tratados nesta camada e processados na camada *Inference Machine* quando necessário. Para tanto, a camada *Message Service Element* tem papel fundamental ao identificar o serviço, resolvê-lo ou repassá-lo à camada *Inference Machine*.

3.4. Inference Machine

A camada *Inference Machine* é a mais superficial do modelo, mas nem por isso é a menos importante. O cerne de todo o processamento relativo à gerência e manutenção dos processos de workflow são executados nesta camada. Aqui serão resolvidos serviços originários dos clientes e demais processamentos pertinentes à gerência de processos de workflow. Pode-se citar como um exemplo de operação resolvida nessa camada, a alocação de recursos para a execução de uma determinada atividade.

4. Serviços de Associação

Os *serviços de associação* são essenciais para que o cliente possa estabelecer uma comunicação estável com o servidor. Os *serviços de associação* garantem a integridade e a particularidade dos dados no servidor. Outra característica da associação é a garantia de compatibilidade no dialeto de comunicação entre o cliente e o servidor, disponibilizada pela implementação de controles das versões dos serviços. A figura 2 demonstra a estrutura do modelo de associação, bem como a sua interação com as demais camadas do modelo. A comunicação entre o cliente e o servidor é garantida por quatro primitivas básicas de serviços:

- **request:** Primitiva representada pelo serviço *a_associate_request*, serviço que solicita ao servidor que seja disponibilizado ao cliente uma nova associação;
- **indication:** Primitiva representada pelo serviço *a_associate_indication*, serviço de indicação do servidor ao cliente sinalizando se seu pedido de associação foi aceito ou não. Esse serviço indica em qual porta no servidor a comunicação será estabelecida ou indica códigos de recusa;

- **response:** Primitiva representada pelo serviço *a_associate_response*, serviço de resposta do cliente ao servidor indicando que está pronto para estabelecer comunicação;
- **confirmation:** Primitiva representada pelo serviço *a_associate_confirmation*, este serviço informa ao cliente que a associação está consolidada.

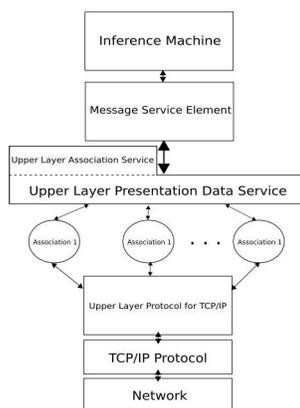


Figura 2. Estrutura de funcionamento das associações em camadas

5. Considerações Finais

O presente artigo é resultado parcial de um trabalho que vem sendo desenvolvido pelo Projeto Cyclops, no Laboratório de Telemedicina do HU/UFSC. O modelo encontra-se em fase de desenvolvimento, contudo, o conteúdo aqui apresentado encontra-se implementado em um protótipo. Atualmente, validações preliminares estão sendo realizadas em laboratório através da inserção de carga de dados. Espera-se em seguida estar inserindo o protótipo em um ambiente real de trabalho. O projeto conta com o interesse de alguns departamentos do Hospital Universitário (HU/UFSC) que sinalizam a intenção de participação na validação da ferramenta.

Referências

- ANSI (2005). American national standards institute. <http://www.ansi.org>.
- Cyclops (2005). The cyclops project. <http://cyclops.telemedicina.ufsc.br>.
- IEEE (2005). Institute of electrical and electronics engineers. <http://www.ieee.org>.
- ISO (2005). International organization for standardization. <http://www.iso.org>.
- NEMA (2004a). Digital imaging and communications in medicine (dicom) part 7: Message exchange. Technical Report PS 3.7-2004.
- NEMA (2004b). Digital imaging and communications in medicine (dicom) part 8: Network communication support for message exchange. Technical Report PS 3.8-2004.
- Ribeiro, M.; Ferreira, L. A. R. e. a. (2004). Medical workflow management - uma proposta para o gerenciamento do processo hospitalar utilizando a tecnologia de workflow integrada ao padrão dicom. *Congresso Brasileiro de Computação*.
- WfMC (2005). The workflow management coalition. <http://www.wfmc.org>.