

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA ANÁLISE DE FLUXO DE ATENDIMENTO
EM UM CENTRO CIRÚRGICO DE UM HOSPITAL DE GRANDE PORTE

Rodrigo Bouyer Ferreira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
BIOMÉDICA.

Aprovada por:

Prof. Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida, Ph.D.

Prof. Wagner Coelho de Albuquerque Pereira, D. Sc.

Prof. Roberto Macoto Ichinose, D. Sc.

Prof. Sergio Miranda Freire, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2005

FERREIRA, RODRIGO BOUYER

Simulação computacional na análise de fluxo
de atendimento em um centro cirúrgico de um
hospital de grande porte [Rio de Janeiro] 2005

VIII, 73 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Biomédica, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Simulação computacional em sistemas de
saúde

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Agradecimentos

Aos Professores Renan Moritz e Wagner Coelho por assumir a orientação neste trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro.

Aos funcionários da administração e do Centro Cirúrgico do Hospital Municipal da Lagoa, sempre solícitos e prestativos.

Ao doutorando Fernando Coelli pelas incontáveis trocas de conhecimentos.

Ao amigo e Mestre Rogério Pires pelas palavras de incentivo no começo desta jornada

Ao colega Robert Ramiarina pela abertura de portas no hospital estudado.

Aos demais professores do PEB/COPPE/UFRJ.

Aos amigos (as) de todas as horas (principalmente de desespero) do PEB/COPPE/UFRJ, sempre dispostos a oferecer ajuda.

Aos amigos (as) em geral, pela tolerância e compreensão dos meus sumiços dos eventos sociais.

Aos meus familiares mais próximos pelo suporte financeiro e emocional de sempre.

Ao “mestre” Henrique Maia pelo inestimável apoio mental e espiritual.

Ao Dr. Francisco Correa, Dr. Luis Fernando Lima, Dra. Denise Peres, Dra. Ana Paula e Swelen, pela compreensão na mudança da minha rotina de trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA ANÁLISE DE FLUXO DE ATENDIMENTO
EM UM CENTRO CIRÚRGICO DE UM HOSPITAL DE GRANDE PORTE

Rodrigo Bouyer Ferreira

Junho/2005

Orientadores: Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida
Wagner Coelho de Albuquerque Pereira

Programa: Engenharia Biomédica

Este trabalho tem como objetivo definir uma estratégia para melhorias no desempenho e na produtividade do Centro Cirúrgico de um grande hospital público do Rio de Janeiro, com o auxílio da simulação computacional. A coleta de dados foi realizada no Hospital da Lagoa, uma instituição de atendimento geral. A metodologia, implementada em MedModel, consistiu em construir um modelo de simulação do Centro Cirúrgico do hospital, no qual as especialidades operantes, equipes e salas estivessem retratadas, para avaliar seu desempenho e formular estratégias para a melhoria deste. As estratégias simuladas estudam as variações na rotina de funcionamento, no número de pacientes e de salas de pós-operatório disponíveis e no impacto que estas causam nos tempos de espera dos pacientes, taxas de bloqueio (do paciente e das salas) e de ocupação das equipes médicas. Duas estratégias básicas foram usadas: com e sem investimentos iniciais no Centro Cirúrgico. Os resultados indicam a possibilidade de melhorias significativas no desempenho do setor, em ambas as estratégias. A metodologia confirmou seu potencial de uso em instituições de saúde.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

COMPUTER SIMULATION USED TO ANALYSE THE PERFORMANCE OF THE
OPERATING ROOMS OF A MAJOR PUBLIC HOSPITAL

Rodrigo Bouyer Ferreira

June/2005

Advisors: Renan Moritz Varnier Rodrigues de Almeida
Wagner Coelho de Albuquerque Pereira

Department: Biomedical Engineering

The purpose of this research was to define a strategy to improve the performance and productivity of the operating rooms of a major public hospital in Rio de Janeiro city by means of computer simulation. Data was gathered in the Hospital da Lagoa, a general public hospital. The methodology, implemented on MedModel, consisted in creating a model of computer simulation in which the operating specialties, the staff and the operating rooms had their performance evaluated, as well as devising strategies for model overall improvement. The simulated strategies referred to working routine changes, to the number of patients and to the number of available post-surgical recovery rooms according to the waiting time of the patients, to the blocking rate (of patients and rooms) and to the rate of occupancy of the medical staff. Two basic strategies were used: with and without initial costs. In both strategies, the results indicate the possibility of significant improvement in the performance in this sector. The methodology confirmed its potential use in health institutions.

Índice

Lista de Símbolos ou Nomenclatura.....	vii
Lista de Tabelas.....	viii
1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	4
3. Revisão de Literatura.....	5
4. Fundamentos Teóricos.....	12
4.1. Custos em CC.....	12
4.2. Reengenharia em Instituições de Saúde.....	13
4.3. Conceitos Básicos de Modelagem Computacional	15
4.4. Classificação dos modelos de simulação.....	16
4.5. Etapas para construção de um modelo de simulação computacional.....	18
4.6. Principais causas de insucesso no desenvolvimento da simulação.....	20
4.7. Programas de simulação computacional.....	21
5. Metodologia.....	24
5.1. Apresentação do Problema.....	24
5.2. Fonte de Dados.....	27
5.3. Implementação do modelo.....	28
8. Resultados.....	39
9. Discussão.....	51
10. Conclusões.....	62
Referências Bibliográficas.....	64
Anexo 1.....	69
Anexo 2.....	70
Anexo 3.....	71
Anexo 4.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS OU NOMENCLATURA

CC – Centro Cirúrgico

H. Lagoa – Hospital da Lagoa

MPA – Unidade de Monitoramento Pós-Anestésico

PIB – Produto Interno Bruto

LISTA DE TABELAS

Tabela I.....	24
Tabela II.....	25
Tabela III.....	26
Tabela IV.....	30
Tabela V.....	32
Tabela VI.....	34
Tabela VII.....	35
Tabela VIII.....	35
Tabela IX.....	40
Tabela X.....	42
Tabela XI.....	44
Tabela XII.....	45
Tabela XIII.....	47
Tabela XIV.....	48
Tabela XV.....	49
Tabela XVI.....	50

1. Introdução

A natureza complexa da organização, estrutura e serviços hospitalares transforma a gestão hospitalar em uma tarefa de grande dificuldade (BRONZINO *et al*, 2000). Além disso, a natureza delicada desses serviços (lidar com doenças, por exemplo) e a sua constante necessidade de contenção de custos aumentam ainda mais a dificuldade de seu gerenciamento.

De acordo com o Organização Pan-americana de Saúde (OPAS, 2001), o Brasil gastou com saúde pública, nas três esferas do governo, R\$ 35 bilhões, que era equivalente à 3,3% do PIB. Devido a estes altos valores, torna-se necessário, portanto, uma ênfase crescente no campo de controle dos custos hospitalares, que podem representar até 80% das despesas públicas no setor Saúde

O centro cirúrgico (CC) foi o escolhido para este trabalho, pois, em geral, suas médias de utilização são de aproximadamente 68% de suas capacidades (*McKesson Corporation* (B), 2002). Com taxas médias de utilização baixas, custos elevados, grande importância de sua atividade e potencial de estudos, os CCs se tornaram uma peça-chave para a análise de custos em um hospital.

O CC é um setor do hospital que possui características ímpares (como controle mais rigoroso de assepsia e equipamentos específicos), que o tornam apto a realizar intercorrências cirúrgicas. Estes centros tornaram-se muito dispendiosos por conta de sua necessidade de equipamentos modernos, acesso constante a medicamentos, materiais e equipes altamente especializadas. Trata-se, portanto, de um setor no qual a melhor estratégia econômica de funcionamento é crítica e muito pesquisada (WEINBROUM, 2003). Modelos de agendamento de salas e equipes cirúrgicas têm se mostrado capazes de auxiliar a oferta de uma boa assistência, mesmo em situações de recursos mais limitados. (SPANGLER *et al*, 2004).

Administradores hospitalares possuem duas opções para satisfazer a demanda populacional: aumentar sua capacidade disponível ou sua produtividade, e, se possível, ambas (BORBA & RODRIGUES, 1998). Considerando a mencionada necessidade de contenção de custos no setor, a melhor opção seria maximizar os benefícios com os recursos já existentes, aumentando a produtividade. Maximizar os benefícios pode ser

entendido por explorar ao máximo as capacidades dos recursos existentes, bem como flexibilizá-los para atender a demanda, reduzindo a necessidade de aquisição de novos recursos. Já o aumento de produtividade pode ser obtido, por exemplo, elevando o número de atendimentos ou serviços prestados, no mesmo intervalo de tempo.

Essa pressão fez com que o processo de “reengenharia” (redesenho) esteja se tornando popular. “Reengenharia” é o ato de repensar e redesenhar um sistema, independentemente da sua natureza, para obter ganhos significativos em seu desempenho (PAUL *et al*, 1998). Entretanto, em 1993, mais da metade dos gestores que tentaram promover tais mudanças nos Estados Unidos, fracassou. Isso se deve à inabilidade intrínseca de prever os resultados de grandes modificações estruturais, à dificuldade de entender todo o sistema e suas complexidades, à pouca criatividade no redesenho e aos seus altos custos (PAUL *et al*, 1998).

Para prever os resultados desses processos, os métodos lineares se tornam “simples” demais, insuficientes para uma previsão consistente e segura, sendo fundamental o auxílio de um ferramental mais apropriado. Por conseguinte, uma das grandes dificuldades relatadas na literatura sobre reengenharia é justamente a falta de ferramentas que auxiliem na predição das conseqüências das mudanças. Sem elas, alguns erros só podem ser reconhecidos após as mudanças, tornando o processo arriscado, oneroso e, muitas vezes, inútil.

Promover “reengenharia”, em síntese, consiste em se modificar recursos humanos, sistemas e tecnologias ao longo do tempo. A interação dos recursos humanos com as tecnologias e o sistema produz conseqüências que não podem ser integralmente avaliadas ou previstas, com a utilização de modelagem estatística tradicional (PAUL *et al*, 1998). Como a interação e as mudanças ocorrem ao longo do tempo, a simulação parece ser o método ideal para este cenário (PAUL *et al*, 1998). O alto nível de interdependência entre os eventos desses sistemas e suas grandes variações estatísticas transformam a simulação computacional na ferramenta de diagnóstico mais robusta e eficiente para esse caso (MORRISON & BIRD, 2003). Além disso, a simulação computacional possui um aspecto dinâmico que permite aos controladores intervir diretamente nos processos, e ao longo deles, observando as conseqüências geradas. Portanto, a simulação computacional parece ser uma excelente ferramenta de apoio à tomada de decisão, uma vez que possibilita a

redução dos riscos e custos envolvidos em um processo de reengenharia, ao identificar e analisar as intervenções pertinentes, sem necessidade de colocá-las em prática.

A rápida evolução dos *softwares* e dos *hardwares* nos últimos tempos facilitou o desenvolvimento de simuladores, cada vez mais “amigáveis”, interativos e ilustrativos, permitindo seu uso por pessoas com conhecimentos menos profundos em ciências da computação (DA COSTA, 2002). Porém, um profissional interessado em lidar com simulação computacional necessita de treinamento específico, uma vez que, um estudo de simulação é uma atividade de análise de sistemas sofisticada, na qual o operador necessita de conhecimentos não apenas sobre a metodologia da simulação, mas também sobre probabilidade, estatística, administração de projetos e conhecimento profundo do sistema modelado (LAW, 2003). Por meio deste tipo de modelagem é possível obter-se ganhos com modificações de comportamento e organização do sistema, como por exemplo, com a padronização de processos e a criação de protocolos clínicos para a redução de custos e aumento de receita.

Um hospital bem gerenciado pode investir em educação continuada para seus profissionais, modernização do espaço físico e compra de equipamentos médicos de última geração, que trarão um melhor atendimento aos seus pacientes. Essas melhorias também reduzem os erros, repetições e redundâncias no sistema, o que pode reduzir os gastos de um hospital entre 20 e 30%, percentual correspondente aos custos dos problemas evitados (“custo oculto”) (BIBLIOMED INC, 2002).

Em suma, o uso da simulação computacional em sistemas hospitalares deve ser melhor pesquisado, devido à complexidade desses sistemas e ao fato de que, à medida que o número de variáveis envolvidas cresce, os modelos probabilísticos tornam-se menos eficientes, surgindo a necessidade de um ferramental mais apropriado. Apesar dessas vantagens, poucos trabalhos estão publicados usando a simulação computacional baseada em eventos discretos para modelagem de sistemas de Saúde, mostrando que o potencial desta ferramenta ainda não foi totalmente descoberto (PAUL et al, 1998).

2. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo modelar o centro cirúrgico de um grande hospital municipal do Rio de Janeiro (Hospital da Lagoa), para estudar possíveis estratégias para melhorias no seu desempenho e, conseqüentemente, na sua produtividade. Para isso, foi utilizada uma ferramenta conhecida como Simulação Computacional, baseada em eventos discretos, com a qual pretende-se identificar os principais parâmetros a serem considerados para uma adequada modelagem desse sistema.

3. Revisão de Literatura

O início dos estudos de simulação na área de saúde pode ser localizado na década de 60, quando FETTER & THOMPSON (1965) conduziram pesquisas em hospitais norte-americanos, com o intuito de prever as consequências de alterações nos processos hospitalares, no seu modo de funcionamento e na política de programação de cirurgias, dentre outras. Porém, a difusão do conceito de simulação para este tipo de análise esbarrou nas dificuldades matemáticas da técnica e, com isso, ela perdeu força.

Somente na década de 90, com a melhoria dos softwares, o conceito de simulação computacional voltou a ser utilizado. WORTHINGTON (1991), BRAILFORD (1994) e BEECH et al (1990) utilizaram esta ferramenta em hospitais da Inglaterra, buscando analisar situações como: diminuir tempos de espera de pacientes de emergência, melhorar a utilização de recursos, analisar processos/fluxo operacional e dimensionar efetivos.

Outra aplicação da simulação computacional foi feita por GOVE & HEWETT (1994), no *Royal Hampshire Hospital*. Neste, foi criado um sistema para planejamento de capacidade de pessoal baseado em simulação, com a finalidade de melhorar a alocação dos recursos existentes. O modelo desenvolvido, em princípio, objetivou analisar o fluxo de pacientes no hospital, de grande rotatividade. Nesse estudo, ficou clara a ineficácia dos modelos determinísticos, baseados em médias, para representar o sistema. Com isso, demonstrou-se a necessidade da utilização de um modelo que represente melhor a variabilidade do sistema, neste caso, a simulação computacional baseada em eventos discretos.

Ainda neste hospital, análises foram conduzidas para identificar a melhor política de disponibilização de leitos por especialidade hospitalar e para avaliar o efeito do aumento do número de leitos disponibilizáveis. Ao final, o trabalho determinou o número “ideal” de leitos que cada especialidade deveria possuir, bem como a escala de trabalho mais eficiente.

Simulação computacional também foi utilizada por NALL (1995) em um trabalho no setor de cirurgia ambulatorial do *Bay Medical Center* (EUA), onde existiam problemas relacionados a sua capacidade de atendimento (número de leitos disponíveis). Tal problema era solucionado, em curto prazo, com a utilização de áreas de departamentos

adjacentes que estivessem momentaneamente sub-utilizadas. Esta solução era insatisfatória, porque gerava outros problemas graves como deslocamentos desnecessários tanto de recursos como de pacientes e conflitos entre os departamentos, nos períodos de pico de demanda.

Desta forma, o hospital procurou alternativas para a utilização das áreas destinadas à cirurgia, nas quais visivelmente constatava-se má utilização do espaço, através de uma ferramenta de simulação computacional. A alternativa escolhida conseguiu aumentar em 45% a utilização das salas e diminuir o tempo total do paciente no processo operatório (pré-cirurgia, cirurgia e pós -cirurgia) em 25%.

No mesmo hospital, foi realizado, adicionalmente, um estudo no laboratório de análises clínicas, que também não conseguia atender totalmente sua demanda. Através da simulação computacional, fez-se uma análise dos processos envolvidos e, por meio da sua redefinição, atingiu-se um aumento de produtividade no sistema.

Em outro projeto, um grupo de Medicina Interna do Novo México (EUA), solicitou a utilização da simulação computacional para o desenvolvimento de um novo centro onde seriam prestados seus serviços, para RILEY (1999). Assim, pôde-se avaliar vários algoritmos de marcação de consultas, entrada de pacientes, produtividade e otimização de serviços prestados, antes da construção do novo centro.

O desafio desse projeto era de unir em um único centro, quatro sub-centros pouco integrados e espalhados pela cidade, que prestavam serviços de medicina interna para o grupo. O projeto foi dividido em duas fases, sendo a primeira fase voltada para criação do arcabouço teórico desta ferramenta de apoio à tomada de decisão e, a segunda, para a simulação propriamente dita.

Na primeira fase, os autores estudaram o funcionamento do hospital e a influência que os diversos tipos de profissionais possuem na tomada de decisão. Após, foram estudadas todas as características do funcionamento do hospital, tais como o registro das medidas de desempenho que seriam utilizadas posteriormente.

A aplicação de uma ferramenta de simulação, na segunda fase, trouxe resultados satisfatórios. As áreas mais críticas quanto ao desempenho, otimização e aumento de produtividade foram identificadas pelo sistema. Segundo os autores, além de alcançar altos

índices de produtividade, a proposição e o teste de diferentes tipos de agendamento de pacientes permitiu um aumento no seu grau de satisfação em relação aos serviços prestados.

GROOTHUIS (2001) desenvolveu estudos envolvendo simulação computacional na Holanda. Em um deles, foi demonstrada a utilidade da técnica de simulação computacional de eventos discretos na otimização da capacidade de atendimento em cirurgias de cateterismo. No hospital estudado, metade dos pacientes que necessitavam fazer cateterismo o fazia em caráter emergencial, sendo clara a importância de se otimizar os atendimentos neste setor e torná-los organizados da maneira mais eficiente possível para atender à demanda.

O objetivo foi aumentar a capacidade de atendimento deste setor, sem aumentar a carga horária de trabalho dos profissionais, ou seja, melhorar sua eficiência. Esse projeto surgiu da constatação, por parte dos cardiologistas, de que a capacidade da sala de cateterismo não seria suficiente para atender a demanda em um futuro próximo. A simulação serviu para investigar o problema e orientar os cardiologistas e administradores quanto à construção de novas salas para cateterismos e mudanças no sistema de agendamento de pacientes. Alternativas de agendamento foram simuladas e encontrou-se a opção “ideal”, que consistia em manter um especialista por dia, exclusivamente atendendo os casos emergenciais, enquanto os demais atendiam suas agendas normais, contrastando com o modelo antigo onde as emergências eram encaixadas aleatoriamente nas agendas dos profissionais, gerando remarcações e perdas de tempo indesejáveis.

No departamento de emergência do *The Cooper Health System* (EUA), SAMAHA et al (2003), utilizaram a simulação computacional para diminuir o tempo de internação dos pacientes, o que refletiria em um impacto direto na imagem do hospital, bem como na sua capacidade de atender às necessidades da comunidade em seu entorno. Uma sugestão que havia era de ampliar as instalações, implantar um sistema de registro e alta de paciente diretamente na cama através de terminais individuais e criar um sistema padronizado de rápido e pronto-atendimento.

Os resultados da simulação demonstraram que existiam muitos problemas no departamento, mas o problema mais significativo era relacionado com a rotina de funcionamento e não aos recursos (humanos ou tecnológicos). Portanto, ampliar as

instalações ou contratar novos profissionais não seria a melhor solução e sim, rever os processos de funcionamento do departamento.

O *Sarasota Memorial Hospital* (Flórida, EUA), contratou WIINAMAKI & DRONZEK (2003) também para realizar um estudo de simulação computacional no seu departamento de emergência. O intuito era realizar um planejamento do número de leitos extras que deveriam ser criados na expansão do setor. O projeto, além de prever o número “ideal” de leitos necessários para atender a demanda, identificou outras necessidades que seriam criadas com esta expansão, como por exemplo, a necessidade de aumentar a capacidade do departamento de radiologia com a aquisição de mais dois aparelhos, a necessidade de outro setor de triagem e a necessidade de menos leitos para casos agudos do que o esperado pela diretoria do hospital.

Em Taiwan, SU & SHIH (2003) realizaram um trabalho utilizando a simulação computacional para tornar mais custo-efetivo o sistema de atendimento de emergências da cidade de Tapei. Neste trabalho, analisou-se os protocolos de atendimento aos chamados de socorro e seus tempos de espera, o tipo de equipe que o realizava, a distribuição de responsabilidades dessas equipes e hospitais, geograficamente, bem como a eficiência do atendimento.

Ficou comprovado que não existia clareza nos critérios para a designação das equipes de atendimento, ficando esta a cargo da experiência do operador da central de chamadas. Essa desorganização acabava gerando o acionamento indevido das equipes mais especializadas ou de equipes menos próximas ao local do acidente. Testou-se diversas hipóteses para resolver este problema e reduzir os custos do sistema, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados. Houve um rearranjo das equipes de socorro, das áreas de coberturas sob responsabilidade de cada hospital, a criação de um protocolo de resposta a chamados e a diminuição do número de equipes especializadas (mais caras) prestadoras de socorro.

WEINBROUM (2003), no *Teal-Aviv Sourasky Medical Center* (Tel-Aviv, Israel) realizaram um estudo cujo objetivo era avaliar a possível existência de períodos de inatividade do CC ou medir os desperdícios de tempo, e analisaram as seguintes variáveis: *indisponibilidade do cirurgião, preparação inadequada do paciente, cancelamento de*

cirurgia devido à falta de sala ou pessoal, tempo de limpeza da sala e atraso na utilização da sala.

Os autores consideraram *indisponibilidade do cirurgião*, quando houve atraso na sua chegada ao CC, quando ocorreu espera do cirurgião menos experiente por outro mais gabaritado ou quando o cirurgião requisitado já se encontrava operando em outra sala. Como variável *preparação inadequada do paciente*, foi considerada a preparação ruim dos prontuários, a ausência dos resultados dos exames laboratoriais, as requisições de última hora de exames ou consultas, a falta de pedido de bolsas de sangue ou demora na sua chegada e a ausência de reserva da sala cirúrgica. *Tempo de limpeza da sala* foi considerado como parte do procedimento operatório e observou-se que 8 minutos eram suficientes, independentemente da especialidade.

O estudo mostrou que os atrasos nos procedimentos cirúrgicos, por motivos diversos, geram acúmulo de atrasos e reduzem a capacidade do CC após as 15:00 horas. Isto pode ocasionar o cancelamento de cirurgias e o descontentamento dos pacientes para com a instituição. A combinação de desperdício de tempo com atrasos define o conceito de “ineficiência” do CC e somam 20% do total do tempo de trabalho deste setor, nas observações dos autores. Além destes fatores, deve-se considerar que as cirurgias de emergências possuem sempre preferência e são imprevisíveis.

Com relação a estes custos “ocultos” hospitalares (desperdícios), foram descritos os custos relativos da subestimação e da superestimação dos tempos cirúrgicos (DEXTER & MACARIO, 2002). O custo relativo de se manter uma equipe médica trabalhando além do horário previsto (subestimação do tempo cirúrgico) eleva em 75% o custo normal. Já para a superestimação do tempo cirúrgico, o custo é semelhante ao da equipe em funcionamento, porém com o agravante que esta não está gerando receita para o hospital.

Estudos recentes têm avaliado a eficiência dos CCs, enfocando basicamente os custos, e considerando para isso, principalmente as causas dos primeiros atrasos do dia ou a sobrevida de pacientes traumatizados. Entretanto, estes estudos foram muito criticados por se acreditar que a barreira mais significativa para redução dos custos deste setor é o desperdício dos tempos destinados à cirurgia (WEINBROUM, 2003).

WRIGHT et al (1996), identificaram outros fatores que implicam em prejuízos ao hospital, como, por exemplo, um critério de agendamento de cirurgias eletivas

inapropriado, baseado em superestimação (desperdício) ou subestimação (geração de atrasos) dos tempos cirúrgicos. Pesquisadores descobriram, ainda segundo esses autores, que a taxa de utilização dos centros-cirúrgicos eram de aproximadamente 40-60%, apenas. Foi comprovado que esses desajustes de agendamento também causam impactos negativos em outros setores do hospital, como no setor de pós-operatório, nas unidades intensivas e nos serviços auxiliares como radiologia e laboratório.

Muitos hospitais, principalmente privados, adotam a política de se alocar uma sala do centro-cirúrgico por períodos de tempos pré-definidos para cada cirurgia, sem levar em consideração a forma ou taxa de utilização deste tempo, segundo DEXTER *et al* (2003). Desta forma, os médicos podem organizar seus tempos de trabalho para atuar no consultório e no centro-cirúrgico, de maneira sistemática. Porém, o hospital pode ter prejuízos caso um determinado médico não esteja utilizando todo o seu tempo reservado no CC e outro não esteja conseguindo atender à demanda por falta de tempo disponibilizado, por exemplo.

Eficiência, em termos econômicos, é definida por WALKER & ADAM (2001) como sendo o uso mais efetivo dos recursos disponíveis. Já EASTAUGH (1992 apud WALKER & ADAM, 2001) vai além e afirma que eficiência e qualidade estão intimamente relacionadas, uma vez que qualquer tentativa de se reduzir custos sem reduzir qualidade ou intensidade de cuidados é uma tentativa de melhorar a eficiência.

Ainda segundo o autor, é difícil de se calcular monetariamente os ganhos com aumento do tempo útil de um Centro-Cirúrgico. Nos EUA, por exemplo, é estimado que o preço de uma sala cirúrgica para o consumidor seja de US\$10 a 20 por minuto e o pós-operatório custa cerca de US\$110 a 200, por hora. Portanto, parecem economicamente relevantes os esforços para se “otimizar” o tempo útil deste setor.

A busca por melhorias na eficiência é crucial para desenvolvimento da relação custo-efetividade nos hospitais, principalmente nos CCs. Porém, a análise da interação destes fatores dinamicamente e as suas modificações são bastante difíceis. Outra grande dificuldade encontrada pelos autores é a falta de critérios considerados padrões na literatura, para efeito de comparação. Por exemplo, não existe um tempo considerado ótimo para que se conclua as atividades de limpeza das salas. Outro problema é a falta de uma taxa de utilização considerada ótima, na literatura, para CC, variando entre 90 e 100%. A

simulação computacional pode ser uma ferramenta bastante útil para auxiliar na resolução destes problemas (WEINBROUM, 2003).

No Brasil, embora o uso da simulação computacional baseada em eventos discretos ainda não esteja muito difundido, pode-se encontrar na literatura alguns exemplos, como um amplo estudo de FUSCO (1996), no Hospital Albert Einstein (SP), buscando melhorar a qualidade do atendimento dos pacientes, diminuindo o seu tempo de espera de exames e solucionando problemas relacionados a exames e laudos fora do prazo estipulado.

Um outro estudo brasileiro foi realizado por CALÔBA *et al* (2003), na maternidade de um hospital público, onde objetivou-se orientar a decisão de aplicação dos novos investimentos no hospital. A maior preocupação nesse trabalho foi quanto ao tempo máximo de espera nas filas. Constatou-se que, uma gestante chegou a esperar 17 horas por uma sala de cirurgia disponível para a realização de uma cesariana e um bebê teve que esperar 50 horas para vagar um berço no berçário de nível intermediário de atenção. Evidentemente, esses tempos de espera prolongados poderiam causar o falecimento de quem estava aguardando pelas vagas.

Após a análise do funcionamento do hospital, por meio de simulação computacional, observou-se que aumentando a demanda de pacientes, houve um aumento de ocupação dos leitos, porém não houve esgotamento dos recursos. Com a construção de outra sala de cirurgia, o tempo de espera máximo reduziu-se para 5 horas e o tamanho da fila ficou 5 vezes menor. Outro achado foi que o berçário de nível médio teve sua fila reduzida a zero com a adição de apenas mais 2 leitos e que a ausência de um profissional anestesista não comprometia o funcionamento normal da clínica.

Ainda no Brasil, está sendo realizada, por BORBA & RODRIGUES (1998), em Porto Alegre (RS), a difusão dos conceitos desta ferramenta, através de uma pesquisa em 15 hospitais e de seminários sobre o assunto, visando demonstrar a potencialidade do uso da simulação computacional em sistemas de saúde. Esse projeto está em sua fase final, e, em breve, os autores pretendem iniciar um estudo de caso em um hospital interessado na técnica.

4. Fundamentos Teóricos

4.1. Custos em CC

As freqüentes mudanças nos recursos, objetivos e métodos de provisão de serviços de saúde acarretam uma constante necessidade de atualização dos hospitais. Os processos atuais de mudanças administrativas para melhoria da eficiência dos centros-cirúrgicos possuem seus focos na melhor utilização dos recursos existentes, e não necessariamente no aumento de suas capacidades. Devido aos seus equipamentos e aos recursos humanos altamente especializados, os custos para funcionamento de um CC podem chegar a 10 ou até 15% do orçamento anual total de um hospital (JEON, 1995).

SPANGLER *et al* (2004) afirmam que, dos três maiores componentes clínicos de um hospital (cirúrgico, clínico e mental), os serviços cirúrgicos são os mais sensíveis ao controle de custos por um processo sistemático de revisão e padronização de sua utilização. Mais especificamente, estratégias que melhoram o desempenho dos tempos cirúrgicos levam este setor, naturalmente, a uma melhor utilização das salas, a uma maior produtividade e a um menor custo de funcionamento (melhor eficiência).

A *McKesson Corporation* (A) (2002) identificou três áreas estratégicas para a melhoria da eficiência dos CCs: a *administração abrangente*, a *padronização e melhorias na utilização dos recursos* e as *rotinas de trabalho pré-definidas*.

Quanto à *administração abrangente*, os autores se referem à adoção de métricas para a avaliação da qualidade da assistência, à utilização dos recursos, às finanças e à produtividade. Com este objetivo, sugerem o uso de sistemas de modelagem do funcionamento do CC com mecanismos de retro-alimentação (*feedback*) associados.

Padronização e melhorias na utilização dos recursos é uma idéia muito simples, cujo objetivo é fazer uma seleção destes recursos baseada em custos, a fim de se adotar sempre o recurso de utilização mais barata para realização de determinada tarefa.

No que diz respeito às *rotinas de trabalho pré-definidas*, a idéia é evitar os atrasos, tanto no começo do dia, quanto durante os procedimentos, gerando diminuição de custos. Para isso, a sugestão é estabelecer rotinas de funcionamento padronizadas, cujos tempos são adequadamente pré-estabelecidos. Segundo os autores, seqüenciando o processo, as instituições podem identificar melhor as ineficiências e os pontos do sistema que permitem

melhorias. Uma rotina de funcionamento com bom desempenho é aquela que possui baixos tempos de espera, poucos atrasos, um grande número de pacientes atendidos e uma pequena variabilidade destas métricas, baseado nos achados de WEYLAND (2003).

4.2. Reengenharia em Instituições de Saúde

O *British National Health Service* (NHS), ao implementar os conceitos da “reengenharia” para melhoria da qualidade e dos processos, teve que se confrontar não apenas com os desafios naturais que estas tarefas impõem, mas também com algumas situações peculiares das instituições de saúde, que transformam esta tarefa particularmente mais difícil (HAM et al, 2003). Segundo os planos do NHS, objetivos como segurança, efetividade e esforços centrados em pacientes são fundamentais para o bom funcionamento dos hospitais e significam trabalhar com mais inteligência (não apenas por um tempo maior), assim como aplicar métodos desenvolvidos por outros sistemas produtivos para melhoria de desempenho e qualidade.

Nos Estados Unidos, o *Institute for Healthcare Improvement* (IHI) é o responsável por colocar em prática as teorias do NHS. Em estudos de “reengenharia” nos hospitais norte-americanos, WALSTON & KIMBERLY (*apud* HAM et al, 2003), descreveram alguns fatores que se transformaram em empecilhos e outros que se revelaram facilitadores dos processos de mudança, neste setor.

Os autores apontaram como fatores facilitadores dos processos de mudança: o estabelecimento e a manutenção de objetivos claros, a preparação e o treinamento para mudanças, o planejamento de suaves transições, o estabelecimento de múltiplos esforços de comunicação, a garantia de apoio às mudanças implementadas por parte da diretoria, a criação de mecanismos para medir e divulgar os progressos e o estabelecimento de novas relações de autoridade e envolvimento dos funcionários, principalmente dos médicos. Estas observações estão de acordo com a literatura de fora da área médica que faz considerações sobre a importância de se criar condições de apoio favoráveis (*background*), para que as medidas de melhorias de desempenho possam se concretizar.

Um dos empecilhos, apontados pelo estudo, para a implementação de modificações no setor de saúde, é a chamada “Burocracia Profissional” que predomina neste tipo de

instituição. Nela, o controle do sistema está nas mãos dos próprios profissionais responsáveis por prover os serviços de assistência. Por conseguinte, a capacidade para promover modificações dos gestores ou profissionais que ocupem outros cargos estratégicos, na posição de autoridade formal destas instituições, é extremamente limitada.

Em organizações que contam com este tipo de burocracia, as sugestões necessitam ser submetidas, em grande parte, à aprovação em processos de colegiado, tornando as mudanças mais lentas e sem continuidade cronológica. Isto pode tornar a modificação inicial inútil e “culturalmente” ineficiente. Desta forma, existe um certo limite nas modificações que um administrador pode empregar nessas instituições.

Assim, nos hospitais, a aplicação de métodos desenvolvidos por outros sistemas produtivos para melhoria de desempenho e qualidade deve ser feita de modo a respeitar esta característica organizacional, principalmente a autoridade dos médicos. WALKER & ADAM (2001), mostram que as mudanças organizacionais também devem ser acompanhadas de mudanças nas relações de autoridade ou exercício de poder dentro do hospital, uma vez que alguns profissionais podem ficar sobrecarregados de responsabilidades, sem conseguir delegá-las, exercê-las ou dividi-las, gerando estresses pessoais, deterioração das relações interpessoais de trabalho e inviabilizando a aplicabilidade das mudanças desejadas.

Para transformar uma realidade em um ambiente hospitalar, JEON (1995), afirma que é necessário um alinhamento entre os anseios dos médicos e os dos administradores hospitalares. Tradicionalmente, médicos e administradores mantêm distância entre si, considerando que suas funções são absolutamente distintas, porém, para o êxito de uma transformação dos processos nestes ambientes, uma estreita colaboração entre estas duas classes se faz necessária. O papel dos médicos é importante porque eles seriam os responsáveis por conciliar os interesses dos administradores com a prática clínica. Além disso, sua liderança junto aos demais profissionais é crucial para o desenvolvimento de consensos e para a definição das novas culturas organizacionais que deveriam ser adotadas.

Ainda de acordo com os autores, a dificuldade de se fazer mudanças complementares pode explicar a tendência existente nos sistemas de saúde, das mudanças surtirem efeitos menores que os esperados. BERWICK (2003) analisou estas barreiras e chegou à conclusão de que não existem atalhos para implementação de nenhum tipo de

mudança nestes sistemas. Portanto, ao se trabalhar com instituições deste tipo, deve-se contabilizar um tempo maior para que se possa colher os frutos das mudanças, assim como ganhar o apoio dos médicos com relação ao que se pretende fazer.

4.3. Conceitos Básicos de Modelagem Computacional

Um dos maiores atrativos da simulação computacional, além da redução dos riscos de investimentos, é a rapidez de sua aplicação (PAUL *et al*, 1998). Informações oriundas do processo de simulação podem ser usadas como argumento para tomadas de decisão e são consideradas mais úteis para o entendimento dos problemas do que propriamente para a solução destes, uma vez que expõem as áreas críticas do sistema para, então, gerar discussão sobre as possíveis soluções, baseadas no conhecimento que se tem sobre o sistema.

ANDERSON (2002) destaca que, usando a simulação computacional, um cliente pode testar e analisar as modificações estruturais que julgar pertinentes. Esta pode ser usada também onde o comportamento do sistema é conhecido e observado, mas os fatores causadores de tal comportamento não são inteiramente compreendidos.

Deve-se ter sempre em mente que o valor da simulação é proporcional à validade do modelo criado e da capacidade de seus resultados serem replicados e implementados.

Dentre as vantagens da simulação computacional, BORBA & RODRIGUES (1998), listam as seguintes:

- Sistemas do mundo real, com elementos estocásticos, podem não ser descritos de forma precisa por meio de modelos matemáticos analíticos ou determinísticos;
- Permite estimar o desempenho de sistemas existentes sob condições de operação projetadas;
- Permite manter maior controle sob as condições dos experimentos, muitas vezes impossível no sistema real;
- Permite estudar o sistema durante um longo período de tempo “simulado” em um curto período de tempo “real”;
- Permite testar várias alternativas sem interferir na realidade, poupando tempo e evitando a implementação de alternativas mal avaliadas;

- Permite que alternativas, cuja veracidade eventualmente seja questionada pelo gestor, sejam comprovadas, devido à interação dinâmica com o usuário.

As desvantagens, também destacadas pelos autores, são:

- O custo do projeto pode ser relativamente alto, bem como o tempo necessário ao seu desenvolvimento;
- Necessidade de profissionais treinados;
- A simulação pode levar a uma confiança nos resultados acima da justificada, caso o modelo não seja uma representação válida do estudo. Nestes casos, a simulação não terá utilidade, mesmo que os resultados causem boa impressão.

4.4. Classificação dos modelos de simulação

Os modelos de simulação foram classificados em quatro categorias diferentes: estático ou dinâmico, determinístico ou estocástico, contínuo ou discreto e terminante ou não terminante (ANDERSON, 2002). Alguns autores os classificam ainda como simulação por tempo real ou por tempo simulado (Quadro I).

Quadro I: Classificação dos modelos de simulação

SISTEMA	MODELO		SIMULAÇÃO	
DISCRETO: variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis	DETERMINÍSTICO: variáveis assumem valores determinados	ESTÁTICO: estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	TERMINANTE: há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo.	POR TEMPO REAL: utiliza o tempo real para a realização dos eventos.
CONTÍNUO: variáveis mudam constantemente com o tempo.	ESTOCÁSTICO: variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades.	DINÂMICO: representa o sistema a qualquer tempo	NÃO TERMINANTE: há interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo prolongar-se indefinidamente.	POR TEMPO SIMULADO: utiliza escala de tempo simulado para a realização dos eventos

Os modelos de simulação computacional estáticos são aqueles que representam o sistema em um instante determinado, não variando ao longo do tempo. Os modelos dinâmicos, em contrapartida, representam a evolução do sistema ao longo do tempo. Simuladores em ambiente hospitalar, especificamente, focam modelos dinâmicos, onde o tempo base pode ser o tempo real ou tempo simulado.

Modelos determinísticos são aqueles cujo sistema não depende de nenhuma variável aleatória (probabilística), ao contrário dos modelos estocásticos. Normalmente, os tempos de chegada e de duração dos procedimentos são variáveis aleatórias que obedecem a uma distribuição de probabilidade, classificando a modelagem da simulação computacional como estocástica.

Nos modelos discretos, cada evento ocorre por vez e um determinado evento só ocorre depois que o antecessor terminou. ANDERSON (2002) e GROOTHUIS (2001), concordam que esses modelos são mais usados para estudar o comportamento de um sistema e sua capacidade, para identificar o tempo médio de cada procedimento, os limites de cada componente e para estimar custos.

Modelos de simulação contínuos, segundo ANDERSON (2002), são mais usados quando o sistema real possui um fluxo contínuo de informações, materiais, recursos ou indivíduos e são caracterizados por possuírem “variáveis de momento” e “variáveis de controle”. As variáveis de momento indicam características do sistema em um dado instante de tempo, enquanto que as de controle são as taxas de mudança e as atualizações dos valores das variáveis de momento, em cada período de tempo. Portanto, existem interações de retro-alimentação (*feedback*) entre os componentes que, normalmente, são não-lineares.

Um modelo é dito terminante quando é estudado apenas por um período determinado de tempo. Em contrapartida, diz-se que um modelo é não-terminante, quando se pretende estudar seu comportamento, depois de um determinado momento (estado de aquecimento do modelo) e infinitamente.

Com relação ao tempo, ANDERSON (2002) dividiu os modelos de simulação em: modelos que utilizam o tempo “real” ou modelos que utilizam o tempo “simulado”. No primeiro tipo, os eventos ocorrem e são tratados na escala de tempo correspondente ao sistema real. Nestes, um operador humano interage com o simulador em tempo real. O

segundo tipo é um modelo que não acompanha a evolução do tempo real, ou seja, um ano do tempo de simulação pode decorrer em poucos segundos de processamento. São mais utilizados para análises de desempenho.

Resumindo, os modelos de simulação computacional, geralmente, são do tipo discreto, dinâmico, estocástico, terminante e por tempo simulado.

4.5. Etapas para construção de um modelo de simulação computacional

Um guia esquemático para a construção de um modelo de simulação computacional (Anexo 1), foi elaborado por ANDERSON (2002) e servirá de base para a construção do modelo deste estudo. Na primeira etapa da construção de um modelo de simulação computacional, deve-se formular o problema e planejar a análise. Um conjunto bem definido de objetivos no início do estudo é fundamental para obtenção de sucesso. Portanto, nesta etapa deve-se discutir os objetivos de simulação, as questões que ele deve responder, as métricas que serão usadas, a configuração do sistema, o ferramental a ser utilizado e o cronograma do projeto.

Uma vez determinados os objetivos, parte-se para o estudo da arquitetura do sistema e dos procedimentos de coleta dos dados representativos do seu comportamento (elaboração do esboço do modelo). Para isso, deve-se identificar todos os elementos relevantes do sistema, bem como a relação entre eles. Um desenho do modelo é então feito para mostrar tais componentes, sub-componentes e suas relações, que podem variar com o passar do tempo. Com relação aos componentes, deve-se descrever as entradas e saídas de dados, os parâmetros do sistema, as mudanças, a acumulação e o fluxo de recursos (incluindo pacientes), os recursos humanos e as medidas de desempenho do sistema.

A etapa seguinte é a de aquisição dos dados. Estes podem ser obtidos de arquivos de computadores, entrevistas, julgamento profissional, questionários ou amostras do cotidiano. As informações qualitativas podem ser importantes para definir o sistema sob investigação. Já as quantitativas são úteis para estimar os parâmetros do sistema, converter e processar as taxas ou padrões esperados.

A seguir, deve-se realizar análises estatísticas dos parâmetros colhidos, para identificar as distribuições de probabilidades que os representam ou, diante de impossibilidade, deve-se obter amostras de dados a serem utilizados nas simulações.

Para encerrar esta etapa, deve-se definir um documento que especifique a idéia que se tem do sistema e suas suposições. Feito isso, deve-se testar o modelo, utilizando os dados colhidos, para garantir que o que foi assumido é correto e completo.

Uma vez aprovado o modelo teórico, um modelo prático deve ser construído. Neste estágio, deve-se escolher a ferramenta ou programa computacional mais adequado para detalhar, modelar e implementar o modelo conceitual.

Realizados os testes para comprovação da eficiência do modelo prático (e aprovado o mesmo), deve-se verificar se os resultados estão dentro do esperado. Esta etapa é conhecida como validação do modelo. É ela que garante que os resultados do modelo são confiáveis.

Um teste bastante difundido para validação do modelo criado é simular o histórico do sistema e verificar a sua compatibilidade com a realidade. Quando tal teste não for possível de ser realizado, deve-se revisar o modelo, tantas vezes quantas forem necessárias, para se obter um modelo válido.

Existem pelo menos 15 técnicas diferentes e conhecidas para a validação dos modelos GROOTHIUS (2001). As mais famosas são as baseadas em animação, a validação pela observação, por dados históricos e por análise de sensibilidade. GROOTHIUS (2001) constata que, ao mostrar o modelo de validação para os clientes, ganha-se a confiança destes com relação aos resultados do projeto.

Nesta etapa também cabe uma análise de sensibilidade nos parâmetros do sistema para identificar os mais sensíveis (críticos), ou seja, aqueles que resultarão em maiores modificações nos resultados globais do sistema quando alterados e, portanto, devem ser mais cuidadosamente modelados.

Em seguida, deve-se planejar o experimento e executar as simulações correspondentes, e, finalmente, deve-se analisar e documentar os resultados. O treinamento adequado da equipe que trabalhará com o simulador também se constitui uma etapa fundamental para o êxito do trabalho. Sistemas simulados, em geral, são complexos e a

falta de compreensão da simulação ou a má interpretação dos resultados podem ter conseqüências desastrosas.

4.6. Principais causas de insucesso no desenvolvimento da simulação

As principais causas de insucesso no desenvolvimento de projetos de simulação computacional (ANDERSON,2002), são:

- Falha na obtenção de um conjunto bem definido de objetivos no início do estudo da simulação;
- Nível inadequado de detalhes (insuficiente ou excessivo);
- Falha de comunicação com a gerência do sistema a ser simulado durante o estudo da simulação;
- Interpretações equivocadas por parte da equipe responsável pela simulação do sistema;
- Falha de compreensão da simulação por parte da gerência;
- Falha em formar uma equipe com conhecimentos suficientes de metodologias e técnicas de simulação;
- Falha na obtenção de dados representativos do comportamento do sistema;
- “Software” de simulação inadequado;
- Falha na consideração dos fatores aleatórios no comportamento do sistema sendo simulado;
- Uso de distribuições de probabilidades incorretas;
- Análise dos dados de uma execução da simulação utilizando fórmulas que inadequadamente suponham independência estatística;
- Executar uma única vez, ou poucas vezes, a simulação e considerar os dados obtidos como a resposta verdadeira;
- Medidas de desempenho inadequadas.

4.7. Programas de simulação computacional

O *ARENA* é uma ferramenta de modelagem e simulação lançada em 1993. A família do *ARENA* é utilizada como ferramenta de auxílio à modelagem, simulação e otimização de diversos tipos de processos e sua visibilidade no mercado tem aumentado significativamente, colocando-o entre os programas líderes de venda, para este fim (STURROCK & RATHMELL, 2002).

O *ARENA* possui uma interface gráfica com o usuário que permite a modelagem do sistema através de módulos, interface para *Microsoft Visual Basic* permitindo integração com programas que suportam *Active X* e é compatível com *Office 2000*, de acordo com FUSCO (1996). Possui também uma versão acadêmica (*Arena 3 Academic*), disponível para uso gratuito, porém com limitação no número de entidades que podem ser criadas (100).

Este programa possui ainda um analisador de entrada para realizar a análise estatística dos dados e permitir determinar a distribuição que mais se ajusta a eles e um analisador de saída para realizar a análise estatística dos resultados da simulação (STURROCK & RATHMELL, 2002).

Os elementos básicos da modelagem neste programa são: as “entidades” que representam as pessoas, transações ou tarefas que se movem ao longo do sistema, as “estações de trabalho” simbolizando onde será realizado algum serviço e o “fluxo” que é o caminho que a “entidade” irá percorrer ao longo de estações de trabalho.

Já o *MEDMODEL* é um programa integrante da família *PROMODEL*, que é uma poderosa ferramenta de simulação para modelar todos os tipos de sistemas de acordo com MARUYAMA et al (2003). Foi desenvolvido para *Windows* com todas as facilidades gráficas já mencionadas, reduzindo a necessidade de programação.

Este programa é, ainda, compatível com uma série de linguagens computacionais, bem como *Excel* e *Power Point*, ou seja, possui flexibilidade que permite que todos os membros do conselho administrativo (os responsáveis pelas tomadas de decisões administrativas) do hospital usem as ferramentas que estão mais acostumados para interagir com o processo de simulação, segundo HARRELL & PRICE (2003). Este programa também permite o trabalho em grupo, possibilitando que diferentes partes do modelo sejam

implementadas por diferentes grupos de pesquisa e posteriormente agrupadas em um grande modelo final.

São elementos básicos de modelagem do *MEDMODEL*:

- Locais: é um lugar imóvel de processamento em um sistema, para o qual *entidades* se movem para serem armazenadas, processadas ou tomar novo roteiro. Podem ser simples (comportam apenas uma entidade de cada vez) ou múltiplos (comportam mais de uma entidade simultaneamente), além de poderem possuir regras de entrada e de saída. Um exemplo de “local” seria um consultório;
- Entidades: é um item que sofre operações cujos resultados são novas entidades (como reunião, divisão e conversão, por exemplo) ou elas mesmas, porém modificadas. As entidades podem receber *atributos*, que são artifícios que individualizam as entidades e que podem ser usados para se obter suas estatísticas específicas, por exemplo. O exemplo mais típico de “entidade” em modelos hospitalares é o paciente;
- Rotas: elementos opcionais que definem o caminho utilizado por entidades e recursos para se moverem no sistema. Podem ser definidas em termos de comprimento e velocidade de movimento, ou simplesmente pelo tempo do percurso. Caso não sejam adicionadas ao modelo, o programa faz com que as entidades percorram o caminho mais curto entre o seus pontos de saída e de destino;
- Recursos: podem ser pessoas, ferramentas, veículos ou qualquer outro objeto que possa ser usado para transportar materiais entre dois locais ou realizar uma operação (modificação) sobre uma entidade. Os médicos são bons exemplos de “recursos”, nos sistemas hospitalares;
- Processos: é através deste artifício que se define qual é a operação e o roteamento que cada entidade deve realizar, em cada local do sistema, os tempos de operação ou de serviço, as requisições de recursos, as lógicas de processamento, as relações de entrada e saída, as condições de roteamento e os tempos de movimentação que podem ser descritos. Por exemplo, se um procedimento médico deve durar 20 minutos, é na “caixa” de processos que este tempo será descrito, de modo que o sistema fará com que o paciente que será submetido a este procedimento, permaneça na sala pelo tempo determinado;

- Chegadas: é o mecanismo de determinação dos momentos em que uma entidade é introduzida no sistema. Um registro de chegada é composto de: número de novas entidades por chegada, frequência das chegadas, locais das chegadas, o instante da primeira chegada e o número total de chegadas. É neste elemento de modelagem que se especifica que o número “n” de pacientes vai entrar no hospital pela porta “x”, na hora “y”, por exemplo.

MARUYAMA et al (2003) afirmam, ainda, que este programa permite também a utilização de sub-rotinas, que são blocos definidos pelo usuário que recebem valores quando chamados e podem retornar resultados após sua execução. Operações complexas desenvolvidas em várias partes do modelo podem ser definidas apropriadamente por uma única sub-rotina.

Os resultados gerados pelos modelos estocásticos são diferentes a cada replicação, em razão da natureza aleatória das variáveis que dão entrada no modelo. Por isso, assim como no *ARENA*, este programa possui um programa de estatística de apoio embutido, chamado de *StatFit*.

Para evitar distorções nos resultados encontrados, devido a problemas de geração de números aleatórios (sementes iguais), é aconselhável fazer várias replicações do modelo gerado e utilizar as médias encontradas, dentro de um intervalo de confiança pré-estabelecido.

HARRELL & PRICE (2003) afirmam que os resultados da simulação deste programa também possuem flexibilidade, permitindo que sejam salvos na forma de arquivos do *Excel* ou *Access*, de acordo com a conveniência de cada programador.

Os dois programas apresentados nesta seção foram testados e escolheu-se trabalhar com o *MedModel*, devido a facilidades de adaptação aos comandos do mesmo.

5. Metodologia

5.1. Apresentação do Problema

O Hospital da Lagoa (Tabela I), onde foi realizado este trabalho, é um hospital geral público e municipal, localizado na Zona Sul do Rio de Janeiro. Sua atual diretoria possui planos para modificar este perfil, tornando-o uma instituição de referência para casos de alta complexidade no município. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1994) define hospital como um estabelecimento cuja finalidade básica é a prestação de assistência médica em regime de internação por período mínimo de 24 horas, possuindo leitos e instalações apropriadas e com, no mínimo, um médico provendo assistência permanente. Ainda de acordo com estas definições, unidade geral é um “estabelecimento capacitado a prestar assistência de saúde, com ou sem internação e/ou que tenha condições de atendimento nos quatro serviços básicos, definidos como: clínica médica, clínica cirúrgica, clínica gineco-obstétrica e clínica pediátrica”. Já unidade pública é aquela que atende à definição de “estabelecimento onde não existe restrição de atendimento à população”.

Tabela I: Características gerais do Hospital da Lagoa

Hospital da Lagoa/ variáveis	Características
Caráter social	Hospital Público
Perfil	Geral
Administração	Prefeitura do RJ
Funcionamento	Atendimento 24 horas
Número de leitos	225
Internações por mês	700
Consultas por mês	24.000
Endereço	Rua Jardim Botânico, 511 - Jardim Botânico, RJ.
Telefones	(21) 3111-5100 / 3111-5104 / 3111-5106 / 3111-5107
Sítio na Internet	http://www.saude.rio.rj.gov.br/lagoa/

Com este objetivo, mudanças internas estão sendo introduzidas, algumas delas relacionadas ao planejamento e à estratégia de atendimento. Com relação a estes aspectos, uma das intenções é estudar o esquema atual de realização de cirurgias, buscando otimizá-las tanto para o melhor atendimento da população, quanto para o aumento de arrecadação por parte do hospital, sempre que possível, priorizando as intervenções de alta complexidade.

Para atender a essa necessidade, este estudo foi sediado nas suas instalações, de acordo com o convite feito pela própria diretoria.

O Centro-Cirúrgico do Hospital da Lagoa conta com 11 salas de cirurgia, que funcionam de segunda a sexta-feira, nos turnos da manhã e da tarde e são utilizadas por equipes de 16 especialidades distintas. Este realizou, no período entre 03 de janeiro de 2000 e 31 de dezembro de 2002, 19500 cirurgias eletivas (Tabela II). Os dados de 2003, por não estarem completos, não foram utilizados. Entre as especialidades que mais operaram neste período estão a Oftalmologia (3453 cirurgias), a Traumato-Ortopedia (2337), Otorrinolaringologia (2286), a Cirurgia Geral (2283) e a Cirurgia Pediátrica (1946) (Tabela III).

Tabela II: Produção mensal do centro-cirúrgico do Hospital da Lagoa. Os meses de novembro e dezembro de 2003 não possuem dados completos

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2000	526	632	655	624	697	660	625	710	617	655	608	569	7578
2001	663	515	672	595	720	602	651	588	257	311	242	220	6036
2002	390	347	504	553	568	513	582	582	546	409	455	437	5886
2003	500	546	493	492	617	566	674	571	638	676	X	X	5773

Segundo a diretoria do hospital, a receita gerada pelo Centro-Cirúrgico corresponde, aproximadamente a 70% de toda a sua arrecadação. Apesar de sua produção aparentemente expressiva, a diretoria está convicta de que a produtividade deste setor pode aumentar.

Tabela III: Panorama da produção das especialidades, com tempos de duração dos atos cirúrgicos e a representatividade de cada uma em relação à produção geral

Especialidades/variáveis	Cirurgias realizadas	Cirurgias contabilizadas	Média de Duração (min)	Desvios-Padrão (min)	% Total
Cirurgia Geral	2283	2073	79,6	56	11,8
Cirurgia Pediátrica	1946	1708	60,9	63,7	9,7
Cirurgia Plástica	1527	1321	69,3	70,2	7,5
Cirurgia Torácica	703	589	61,4	73,7	3,3
Cirurgia Vascular	999	914	106,3	91,5	5,1
Coloproctologia	878	796	61,7	72,1	4,5
Ginecologia	1601	1463	55,4	28,1	8,3
Neurocirurgia	381	325	269,6	169,9	1,8
Oftalmologia	3453	3174	54,8	29	18
Otorrinolaringologia	2286	2155	77,9	48,	12,2
Traumato-Ortopedia	2337	2112	71,1	58,9	12
Urologia	1106	1017	76,8	64,9	5,8

Na Tabela III, *Cirurgias realizadas* correspondem às cirurgias que constam no banco de dados e *Cirurgias Contabilizadas* representam as cirurgias que foram aproveitadas para as análises deste estudo (não descartadas). A coluna *% Total* representa o percentual de cirurgias que foram descartadas por especialidade. Apenas quatro especialidades tiveram seu percentual de descarte maior que 10.

5.2. Fonte de Dados

Foram utilizados dados disponibilizados por um sistema de informação baseado em um servidor interno do próprio Hospital da Lagoa, elaborado pela sua Divisão de Informática, especialmente para o Centro-Cirúrgico.

No banco de dados constam registros de cirurgias realizadas entre os dias 03 janeiro de 2000 e 14 de Novembro de 2003. Neste incluem-se ainda dados pessoais dos pacientes e seus prontuários, tipo de cirurgia e de anestesia, duração prevista e efetiva da cirurgia e da anestesia, clínica solicitante, horários de chegada e saída de pacientes e profissionais, de início e fim de cirurgias, destino do paciente após cirurgia, equipe médica responsável, dentre outros (Anexo 4).

Apesar de previamente preparado, nem todos os registros do banco de dados puderam ser aproveitados. Registros com variáveis de relevância para o projeto, porém incompletamente preenchidos, foram descartados. Adicionalmente, as variáveis que poderiam ser aproveitadas pelo modelo, mas estavam com ausência de registros, também foram afastadas das análises. Outros registros apresentaram incoerências, por exemplo, algumas cirurgias foram registradas com tempo de duração inferior a 10 minutos, e também foram descartados, pois possivelmente representavam erros de preenchimento devido à exagerada rapidez de execução de um procedimento que, por requerer o uso de CC, deveria ser de resolução mais lenta. Desta forma, buscou-se dar confiabilidade aos registros remanescentes. Por causa destas adaptações, foram denominadas cirurgias “realizadas” todas aquelas feitas no CC principal e que possuíam registro no banco de dados e, cirurgias “contabilizadas”, somente aquelas cujos registros não apresentam as irregularidades expostas anteriormente (Tabela III).

Alguns parâmetros de interesse para o presente estudo não disponíveis no banco de dados (por exemplo, esquema de agendamento de cirurgias, de revezamento das salas e de escala de trabalho dos profissionais) e foram coletados *in loco*. Este modelo, uma vez aprovado pela equipe de pesquisadores, foi transportado para um programa de simulação computacional baseado em eventos discretos, validado, simulado nas suas diversas estratégias e teve seus resultados analisados a fim de se gerar relatórios para as conclusões finais deste trabalho.

Apesar do banco de dados abranger o período de 03 de Janeiro de 2000 e 14 de Novembro de 2003, incluiu-se nas análises apenas os dados referentes ao triênio 2000/2002, porque os de 2003 ainda não estavam completamente preenchidos (Tabela II).

5.3. Implementação do modelo

A primeira etapa da pesquisa foi uma reunião no hospital escolhido, com a presença da direção, na qual ficaram definidos os objetivos deste trabalho. Em seguida, com o intuito de testar a metodologia desta modelagem, corrigir falhas e avaliar quais dados extras ainda se faziam necessários para este fim, foi elaborado um projeto piloto de simulação computacional do hospital selecionado, no *MedModel*. Por este estudo preliminar, observou-se a necessidade de coletas *in loco* da escala de trabalho do CC do hospital e de observações da rotina de funcionamento e, desta forma, alcançou-se à modelagem utilizada no modelo final.

Concluída esta primeira etapa, construiu-se o modelo final propriamente dito. No Departamento de Informática, teve-se acesso a um banco de dados com informações sobre as cirurgias realizadas no hospital, no qual verificou-se a sua utilidade e consistência para a simulação computacional proposta e pôde-se selecionar os campos interessantes e os registros a serem descartados deste projeto.

Os dados aproveitados no modelo (“variáveis de entrada”) foram: *data da cirurgia, número de cirurgias por dia, clínica solicitante, número de cirurgias por clínica solicitante, hora do início da cirurgia, hora do fim da cirurgia, destino do paciente no pós-operatório, hora de início e fim de anestesia, tempo médio de duração de cirurgia, número de equipes cirúrgicas por especialidade, escala das equipes cirúrgicas e número de transfusões sanguíneas* (Anexo 4). Todos referentes ao triênio 2000/2002.

As distribuições de probabilidade as quais os diversos dados se ajustaram de acordo com as análises auxiliadas pelo *StatFit*, estão de acordo com a literatura. Por exemplo, DEXTER et al (1999), afirma que os tempos médios de duração de procedimentos médicos, quando avaliados por um período maior que 11 meses, são normalmente distribuídos e invariáveis ao longo do tempo. Outra opção de distribuição de probabilidade

que poderia ser utilizada (também confirmada com auxílio do *StatFit*) é a Lognormal, que se mostrou, neste caso, com melhor ajuste por não existir tempo de início de processo inferior a zero (STRUM et al, 2003).

Diante de duas distribuições de ajustes comprovados, optou-se pela distribuição Normal, uma vez que esta é de uso mais corriqueiro. Considerou-se, também, que um mês possui 22 dias úteis em média e dividiu-se o valor mensal encontrado por 22, obtendo-se a média diária de cirurgias (aproximadamente 25). Após, dividiu-se também o valor do desvio-padrão pela raiz quadrada de 22 (“n”) para o mesmo fim, obtendo-se o valor de 25,58, aproximadamente.

A produção mensal do centro-cirúrgico foi analisada com o objetivo de definir uma distribuição de probabilidade adequada para a variável de entrada *número de cirurgias por dia*. Para esta definição, os dados foram investigados com a ajuda do *StatFit* (pacote estatístico do *MedModel*).

Para calcular a variável *tempo médio de duração de cirurgia*, diminuiu-se a variável *hora do fim da cirurgia* da variável *hora do início da cirurgia*. Para aquela variável, foram descartados os tempos médios inferiores a 10 minutos. Os tempos médios foram calculados para cada especialidade (variável *clínica solicitante*) operante de modo que os pacientes de cada uma passaram a integrar grupos mais homogêneos.

Para que estes tempos médios fossem incorporados pelo modelo, criou-se um valor numérico, chamado de “atributo” que foi conferido a cada paciente que entrou no sistema. Para isso, foi criada uma tabela (Tabela III) com o percentual de cirurgias realizadas por cada especialidade no período (variável *número de cirurgias por clínica solicitante*). Desta forma, cada paciente que chegou no CC foi, automaticamente, identificado com relação à especialidade operante.

Para identificar a existência de padrões que simplificassem o processo de modelagem, foi feita uma Análise de *Cluster* com o programa estatístico *SPSS* (versão 8.0) utilizando-se os tempos-médios de duração de cirurgias e seus desvios-padrão, pré-definindo sete agrupamentos (número máximo, de acordo com a versão do *software* adquirida). Cada agrupamento possui um valor centróide particular, tanto para média, quanto para desvio-padrão, e estes valores foram utilizados como os tempos médios e desvios-padrão de duração de cirurgias, do grupo de especialidades (*cluster*) que eles

representam (Tabela IV). Estes *clusters* receberam o mesmo valor numérico que o atributo que o representa. O intuito foi de identificar padrões que pudessem permitir o agrupamento de duas ou mais especialidades, com relação às variáveis apresentadas.

A análise de *Cluster* ou agrupamento é um dos métodos de classificação de grupos mais básicos, que se utiliza de métricas para identificar grupos a partir da proximidade de seus elementos. Para este tipo de análise, as variáveis de entrada são medidas de similaridades ou dados a partir dos quais estas medidas possam ser calculadas. O objetivo desta técnica é, portanto, descobrir o agrupamento “natural” dos elementos envolvidos (JOHNSON & WICHERN, 1992).

Tabela IV: Análise de *Cluster* dos tempos médios e desvios-padrão das especialidades e suas representatividades

Nº do Cluster	Componentes	Especialidades constituintes	% de cirurgias	Centróide de média de duração (min)	Centróide de desvio-padrão (min)
1	2	Cirurgia Geral e Otorrinolaringologia	24	78,8	52,4
2	1	Cirurgia Pediátrica	9,7	60,9	63,7
3	2	Traumato-Ortopedia e Urologia	17,7	74	61,9
4	1	Neurocirurgia	1,8	269,6	169,9
5	1	Cirurgia Vascular	5,2	106,3	91,5
6	3	Cirurgia Plástica, Cirurgia Torácica e Coloproctologia	15,3	64,1	72
7	2	Ginecologia e Oftalmologia	26,3	55,1	28,5

Todos os pacientes receberam um tempo de anestesia pré-operatório, dentro da sala de cirurgia, que foi adquirido diminuindo-se a variável *hora de início de anestesia* da *hora de início de cirurgia*. Estes tempos médios se ajustam à distribuição normal de média de 29 minutos e desvio-padrão de 18 minutos.

No modelo criado, cada *cluster* recebe o número de equipes médicas correspondente ao número de salas cirúrgicas destinadas a ele em cada turno (variável *número de equipes cirúrgicas por especialidade*), ou seja, se em determinado turno duas salas seriam destinadas a um cluster, duas equipes médicas deste estariam à disposição neste turno. A escala de trabalho das equipes médicas, adotada no modelo, é a mesma utilizada pelo hospital em estudo e está ilustrada na Tabela V. Esta escala de trabalho implica no funcionamento das salas cirúrgicas de acordo com ela, ou seja, é uma escala de trabalho para funcionários e para salas. Quando esta escala se refere exclusivamente às salas cirúrgicas, ela recebe o nome de “shift”, neste estudo.

Tabela V: Escala de trabalho do centro-cirúrgico do Hospital da Lagoa. (Oto = Otorrinolaringologia; Uro = Urologia; Vasc = Cirurgia Vascular; Tórax = Cirurgia Torácica; Neuro = Neurocirurgia; Plástica = Cirurgia Plástica; Geral = Cirurgia Geral; Gineco = Ginecologia; Pediatria = Cirurgia Pediátrica; Procto = Proctologia; Orto = Traumatologia-Ortopedia; Oftal = Oftalmologia)

Dias e turnos/salas cirúrgicas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Segundas-feiras manhã	Oto	Uro	Neuro	Geral	Gineco	Pediatria	Geral	Orto	Oftal	Geral	Gineco
Segundas-feiras tarde	Oto		Neuro		Vasc		Orto	Orto			
Terças-feiras manhã	Oto		Plástica	Oto	Tórax	Procto	Uro	Orto	Oftal		Vasc
Terças-feiras tarde			Plástica	Plástica		Procto		Orto	Oftal		Vasc
Quartas-feiras manhã	Oto		Neuro	Geral	Gineco	Pediatria	Geral	Orto	Oftal		Vasc
Quartas-feiras tarde	Oto		Neuro			Pediatria		Orto	Oftal		Vasc
Quintas-feiras manhã	Oto	Vasc	Plástica	Oto	Gineco	Procto	Uro	Orto	Oftal		
Quintas-feiras tarde		Tórax	Plástica			Procto	Orto	Orto			
Sextas-feiras manhã	Oto		Neuro	Tórax	Gineco	Pediatria	Geral	Geral	Oftal		Uro
Sextas-feiras tarde			Neuro			Pediatria					

A variável *destino dos pacientes no pós-operatório* não foi utilizada pois todos os pacientes operados saíam das suas respectivas salas cirúrgicas para a unidade de Monitoramento Pós-Anestésico (MPA), ainda dentro do centro-cirúrgico, para ficar sob monitoramento intensivo até que apresentem os primeiros sinais de recuperação após anestesia (movimentos voluntários, por exemplo). Esta unidade tem capacidade para receber até sete pacientes simultaneamente. Para se ajustar os tempos médios que os pacientes permanecem ocupando os leitos desta unidade, utilizou-se a variável *hora do fim da anestesia* diminuída da variável *hora do fim da cirurgia*, descartando-se eventos inferiores a 10 minutos por se considerar registros falhos.

Definidos os parâmetros, os atributos e as variáveis (Tabelas VI, VII e VIII, respectivamente), foi realizado um procedimento denominado “Verificação” do modelo,

cujo “*lay out*” (visual) está ilustrado no Anexo 2. Na verificação, investiga-se se os conceitos estabelecidos para o modelo foram respeitados, identifica-se e corrige-se os possíveis erros de programação (LAW, 2003).

Tabela VI: parâmetros utilizados no modelo de simulação computacional

Parâmetros	Valores
Equipes Médicas	12 (agrupadas em 7 clusters)
Enfermeiras	2
Salas Cirúrgicas	11
Velocidade de locomoção paciente	38 metros/minuto
Capacidade da entrada	ILIMITADA
Capacidade da sala de pré-operatório	ILIMITADA
Capacidade da sala de cirurgia	1 paciente
Capacidade da sala de pós-operatório (MPA)	7
Tempo (min) de limpeza e desinfecção das salas	Normal de média = 8 e desvio-padrão = 1
Tempo do pré-cirúrgico (anestesia) (min)	Normal de média = 29 e desvio-padrão = 18
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 1 (min)	Normal de média = 78,8 e desvio-padrão = 52,4
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 2 (min)	Normal de média = 61 e desvio-padrão = 63,75
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 3 (min)	Normal de média = 74 e desvio-padrão = 62
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 4 (min)	Normal de média = 269,63 e desvio-padrão = 169,97
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 5 (min)	Normal de média = 106,39 e desvio-padrão = 91,57
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 6 (min)	Normal de média = 64,2 e desvio-padrão = 72
Tempo cirúrgico <i>Cluster</i> 7 (min)	Normal de média = 55,1 e desvio-padrão = 28,6
Tempo de recuperação pós-cirúrgica (min)	Normal de média = 98 e desvio-padrão = 60
Turno da manhã	07:30h - 13:30h
Turno da tarde	13:30h - 19:30h
Frequência de entrada pac. 1 (min)	Normal de média = 91 e desvio-padrão = 1
Frequência de entrada pac. 2 (min)	Normal de média = 73 e desvio-padrão = 2
Frequência de entrada pac. 3 (min)	Normal de média = 87 e desvio-padrão = 3
Frequência de entrada pac. 4 (min)	Apenas 1 paciente por turno
Frequência de entrada pac. 5 (min)	Normal de média = 119 e desvio-padrão = 5
Frequência de entrada pac. 6 (min)	Normal de média = 77 e desvio-padrão = 6
Frequência de entrada pac. 7 (min)	Normal de média = 68 e desvio-padrão = 7
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 1	24
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 2	9,7
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 3	17,7
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 4	1,8
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 5	5,2
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 6	15,3
Taxa (%) de cirurgias do <i>Cluster</i> 7	26,3
Período de simulação	5 semanas

Tabela VII: Atributos usados no modelo do centro-cirúrgico

Atributos	Descrição	Tipo de número	Entidade a que pertence
hora	Recebe a hora em que a MPA foi solicitada como caminho, mas está lotada.	Inteiros	paciente
hora_dif	Diferença entre a hora de solicitação do MPA (lotada) e a hora de entrada na MPA.	Inteiros	paciente

Tabela VIII: Variáveis inseridas na modelagem deste trabalho

Variável	Descrição	Tipo de números	Valor inicial
cir_1	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 1.	Inteiros	1
cir_2	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 2.	Inteiros	1
cir_3	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 3.	Inteiros	1
cir_4	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 4.	Inteiros	1
cir_5	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 5.	Inteiros	1
cir_6	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 6.	Inteiros	1
cir_7	Contador que indica o número de cirurgias já realizadas pelo <i>cluster</i> 7.	Inteiros	1
Total_cirurgias	Contador que indica o número total de cirurgias realizadas.	Inteiros	0
Total_MPA	Contador que indica o número total de pacientes que deram entrada na MPA.	Inteiros	0

Concluído o processo de modelagem do sistema, seguiu-se para o processo de entendimento do funcionamento do sistema, de identificação de pontos críticos que limitam o seu fluxo de funcionamento (gargalos), de criação e simulação de estratégias para seu funcionamento, de avaliação dos resultados, de confecção e de apresentação dos relatórios gerados.

O modelo foi analisado de acordo com as seguintes variáveis de saída: *total de entrada de pacientes no sistema, total de cirurgias realizadas, média diária de cirurgias, taxa de utilização das salas cirúrgicas, taxa de bloqueio das salas cirúrgicas* (ocorre quando o paciente que acabou de ser operado não pode ser removido de imediato para a MPA, por esta se encontrar lotada. Conseqüentemente, o paciente fica dentro da sala cirúrgica se recuperando da anestesia, enquanto aguarda vaga na MPA. Tal espera, impede a continuidade dos trabalhos desta sala, bloqueando, desta forma, seu uso), *taxas de utilização de cada equipe cirúrgica (cluster), taxas de bloqueio de cada tipo de paciente* (inclui o tempo que o paciente fica bloqueado na sala e os tempos em que ele fica à espera de médicos), *tempos médios em minutos (pré, intra e pós-operatórios) de cada tipo de paciente, atrasos em cada dia da semana e tempos médios em minutos em que cada tipo de paciente permanece no sistema.*

O fluxo de atividade do CC foi observado e transportado para o modelo, que funcionou de acordo com o seguinte esquema (Anexo 3): os pacientes chegam ao centro-cirúrgico pelos elevadores, passam pela entrada e, caso sejam os primeiros pacientes do dia de cada especialidade são conduzidos pelos médicos que irão operá-lo diretamente para as salas de cirurgia, caso contrário são conduzidos para a sala de pré-operatório, a fim de aguardarem que as suas salas cirúrgicas e as suas equipes médicas estejam disponíveis. Quando isto acontece, a própria equipe médica vai buscar o paciente na sala de pré-operatório e levá-lo até a sua sala cirúrgica de destino (previamente reservada). Chegando na sala cirúrgica, o paciente recebe os trabalhos de anestesia pré-operatória pelo anestesista, em presença da sua equipe médica. Os tempos para conclusão destes trabalhos obedecem a uma distribuição de probabilidade Normal com média de 29 e desvio-padrão de 18 minutos. Quando devidamente anestesiado, a cirurgia é, então, realizada, com tempos de duração de acordo com os centróides de média e desvio-padrão de cada agrupamento. Ao final do procedimento cirúrgico, os médicos retornam para a sala dos médicos (ficando disponíveis novamente) e o paciente é encaminhado à sala de pós-operatório do centro-cirúrgico (MPA), onde permanece em observação por um tempo que obedece a uma distribuição Normal de 98 minutos de médio e 60 minutos de desvio-padrão, quando, enfim, recebe alta do centro-cirúrgico.

A marcação das cirurgias no hospital é feita seguindo uma escala de trabalho, dividida por dias e turnos, encontrada no próprio setor (Tabela V). Nesta escala, cada sala cirúrgica é destinada a uma especialidade, e o cirurgião responsável por uma determinada sala é quem marca e informa até as 10:30h da manhã do dia anterior, quantas e quais cirurgias serão realizadas na sua sala, em seu turno. Esta marcação é feita de acordo com a previsão do cirurgião sobre quantas cirurgias ele pode realizar naquele turno, baseado em sua experiência. Não necessariamente todas as salas são utilizadas todos os turnos e pode haver transferências de salas, de acordo com as necessidades momentâneas.

No modelo criado, utilizou-se o número máximo “teórico” de atendimentos que poderiam ser atendidos pelo hospital (Tabela XV). Estes valores máximos “teóricos” foram calculados da seguinte forma: a duração de cada turno é de 360 minutos (6 horas) e cada equipe possui, segundo uma distribuição de probabilidade Normal, um tempo médio de cirurgia conhecido. Foram, então, calculadas quantas cirurgias eram possíveis de ser realizadas, utilizando-se as médias das Normais acrescidas do tempo de limpeza e preparo das salas entre cirurgias (também tomando a média como base), no período de 1 turno. Esse cálculo foi realizado pois, no hospital, é o cirurgião quem define quantas e quais são as cirurgias que ele realizará em um determinado turno, baseado no tempo que ele considera necessário para cada uma.

As análises feitas e as estratégias sugeridas para melhoria de desempenho deste setor, baseadas nos estudos da literatura e nos “gargalos” encontrados, foram:

- Determinação do número máximo teórico de cirurgias que poderiam ser realizadas de acordo com o modelo;
- Observação das implicações da implementação deste número máximo teórico na rotina diária de atendimento;
- Alterações no número de pacientes operados por cada *cluster* de acordo com as suas taxas de utilização;
- Análise dos efeitos da liberação para uso de qualquer sala cirúrgica, com a disponibilização da mesma quantidade de equipes médicas em contraposição à obediência irrestrita da escala de trabalho;
- Análise dos impactos do aumento progressivo do número de leitos na sala de MPA (ponto mais crítico do sistema);

- Diminuição dos atrasos cirúrgicos;
- Determinação do número máximo “ideal” de pacientes que podem ser operados por dia, de acordo com a estratégia de funcionamento escolhida.

Relatórios com os resultados e as conclusões abaixo foram preparados para serem apresentados à diretoria do Hospital da Lagoa e à equipe de chefia do CC, como o objetivo de participar a todos os profissionais que ocupam cargos estratégicos das propostas deste estudo.

6. Resultados

A produção mensal do o centro-cirúrgico é exibida na Tabela II. Como resultado da análise feita no programa *StatFit* para determinação do ajuste destes dados a uma distribuição de probabilidades, encontrou-se o ajuste a uma distribuição Normal de média (μ) de 549 e desvio-padrão (σ) de 124 cirurgias por mês, aproximadamente.

As Tabelas IX e X mostram o desempenho do CC, recebendo o máximo “teórico” de pacientes que pode atender, com diferentes quantidades de leitos de monitoramento pós-anestésico (local mais crítico do sistema), com ou sem “shift” (escala de trabalho das salas). O número máximo de leitos de MPA (15) foi determinado pelo modelo, uma vez que em nenhum momento houve mais de 15 pacientes em suas instalações, simultaneamente.

Tabela IX: Funcionamento do modelo variando-se o número de leitos na unidade de MPA (pós-operatório), obedecendo-se a escala de funcionamento das salas cirúrgicas. Tempo médio (pré a pós) significa o tempo total em que o paciente ficou sob cuidados médicos, ou seja, durante anestesia, cirurgia e pós-operatório

Variáveis	Nº de MPAs					
	7 MPAs	8 MPAs	9 MPAs	10 MPAs	12 MPAs	15 MPAs
Total de entrada de pacs.	945	945	945	945	945	945
Total de cirurgias realizadas	945	945	945	945	945	945
Média diária de cirurgias	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8
Taxa de ocupação das salas	77,7	77,9	78,1	78	78,2	78,2
Taxa de bloqueio das salas	4,1	2,3	1	0,4	0,1	0,1
Taxa de utilização das equipes (%)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	54	52,8	52,5	52	52	52,1
Cirurgia Pediátrica	58,8	58,6	54,7	57,7	56,3	55,9
Traumato-ortopedia e Urologia	53,7	53,2	51,7	51,8	51,9	51,8
Neurocirurgia	44,	43,1	42,2	41,8	42,8	42,7
Cirurgia Vascular	43,6	44,5	42,8	43,3	43	43,2
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	47,7	47,2	47	47,1	47,1	47,2
Ginecologia e Oftalmologia	40	39,5	38,8	38,7	38,4	38,5
Tempo médio no sistema paciente (min)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	241,9	238,9	237,9	236,9	236,5	236,4
Cirurgia Pediátrica	302,5	299,6	285,3	300,3	289,8	288,8
Traumato-ortopedia e Urologia	264,1	258,5	252,7	253,6	253,5	253,5
Neurocirurgia	442,8	435,6	418,9	417,5	426,8	425,1
Cirurgia Vascular	289,2	296,8	287,9	290,7	288,6	289,6
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	237,8	235,4	236	235,7	235,6	235,8
Ginecologia e Oftalmologia	204,3	203	201,1	200,4	199,9	199,9
Tempo médio (pré a pós) paciente (min)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	201,1	204,4	207	207,7	208,4	208,6
Cirurgia Pediátrica	190,2	194,8	193	194,6	193,7	194,2
Traumato-ortopedia e Urologia	202	203,2	204,5	206,6	206,6	206,9
Neurocirurgia	402,1	401,9	393,2	392	400,2	398,5
Cirurgia Vascular	232	238,7	238,6	239,3	240,5	240,4
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	196,4	197,1	199,5	199,5	199,3	199,2
Ginecologia e Oftalmologia	177,1	180,4	181,9	182,5	182,9	183
Taxa de bloqueio paciente (%)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	10,9	8,8	7	6,4	5,9	5,9
Cirurgia Pediátrica	15,8	14,1	12	12,7	12,1	11,7
Traumato-ortopedia e Urologia	10	8,7	6,8	6,6	6,4	6,4
Neurocirurgia	2,7	2,3	1,2	0,9	1	1
Cirurgia Vascular	7,4	6,3	4,9	5,0	4,6	4,7
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	6,9	5,8	4,9	4,6	4,8	4,8
Ginecologia e Oftalmologia	8,6	6,6	4,8	4,3	3,9	3,8

Nesta tabela (IX), pode-se observar que a taxa de ocupação das salas cirúrgicas permanece praticamente constante a despeito do aumento do número de leitos na unidade

de MPA. Já a taxa de bloqueio das mesmas reduz conforme tal alteração no número de leitos acontece, chegando a 1% com a disponibilização de 10 leitos na unidade de MPA. Adicionalmente, as taxas de bloqueio das pacientes também apresentam tendência de queda ao se aumentar a oferta de vagas na unidade de Monitoramento Pós-anestésico.

Tabela X: Funcionamento do modelo variando-se o número de leitos na unidade de MPA (pós-operatório), com uso aleatório das salas cirúrgicas. Tempo médio (pré a pós) significa o tempo total em que o paciente ficou sob cuidados médicos, ou seja, durante anestesia, cirurgia e pós-operatório

Variáveis	Nº de MPAs					
	7 MPAs s/ escala	8 MPAs s/ escala	9 MPAs s/ escala	10 MPAs s/ escala	12 MPA s/ escala	15 MPAs s/ escala
Total de entrada de pacientes	945	945	945	945	945	945
Total de cirurgias realizadas	945	945	945	945	945	945
Média diária de cirurgias	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8
Taxa de ocupação das salas	20,1	20,1	20,1	20	20	20
Taxa de bloqueio das salas	1,3	0,79	0,4	0,1	0,03	0
Taxa de utilização das equipes (%)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	48,8	48,1	47,5	47,2	47	47
Cirurgia Pediátrica	42,2	41,8	41,4	41,1	40,9	40,8
Traumato-ortopedia e Urologia	45,5	45,3	45,2	44,7	44,5	44,5
Neurocirurgia	41,6	41,5	42,2	41,9	41,7	41,6
Cirurgia Vascular	39,2	39,2	39,2	38,9	38,7	38,8
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	42,8	42,2	42,2	42,6	42,4	42,4
Ginecologia e Oftalmologia	36,9	36,6	36,5	36,2	36,3	36,3
Tempo médio no sistema paciente (min)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	228,5	225,8	224,3	223	222,5	222,5
Cirurgia Pediátrica	243,4	243,3	240,7	241	240,1	239,8
Traumato-ortopedia e Urologia	232,5	232,9	231,9	227,8	227,1	227,2
Neurocirurgia	420,3	420,1	423	423,7	420,8	419,8
Cirurgia Vascular	272,3	270,3	271,7	271,1	268,8	269,1
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	221,7	220	219,8	221,2	220	220,1
Ginecologia e Oftalmologia	196,9	195	194,6	195	194,7	194,8
Tempo médio (pré a pós) paciente (min)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	200,3	203,6	206,3	207,	208,2	208,4
Cirurgia Pediátrica	190,5	193,2	193,7	195,1	195,5	195,3
Traumato-ortopedia e Urologia	199,1	203,5	205	203,8	204,2	204,3
Neurocirurgia	393,7	394,9	398,6	400	398	397,2
Cirurgia Vascular	233,5	235,9	238,3	239,6	238,1	238,6
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	195	197,2	198,1	199,7	199	199
Ginecologia e Oftalmologia	175,4	178,5	181	183,2	183,9	184,2
Taxa de bloqueio paciente (%)						
Cirurgia Geral e Otorrino.	6,8	4,4	2,7	1,8	1,2	1,1
Cirurgia Pediátrica	4,1	2,5	1,5	0,9	0,5	0,5
Traumato-ortopedia e Urologia	3,7	2,2	1,1	0,6	0,3	0,3
Neurocirurgia	1,2	0,6	0,4	0,1	0,04	0
Cirurgia Vascular	2,4	1,2	0,6	0,3	0,1	0,1
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	2,7	1,4	0,8	0,4	0,2	0,2
Ginecologia e Oftalmologia	6,2	3,8	2,3	1,4	0,8	0,7

Na Tabela X, foram realizadas as mesmas observações da tabela anterior, porém com a não obediência à escala de funcionamento das salas cirúrgicas. É possível notar que os comportamentos das variáveis anteriormente mencionadas permanece o mesmo, entretanto, seus valores são sempre muito mais baixos.

Atrasos no final dos turnos de trabalho foram identificados e analisados na Tabela XI, segundo estratégias com 7 MPAs (número atual) e 15 MPAs (número máximo revelado pelo modelo). A estratégia com 15 MPAs foi subdividida em duas, uma considerando a escala de salas cirúrgicas existente no hospital (“shift”) e a outra tendo suas cirurgias realizadas em salas escolhidas aleatoriamente, de acordo com as suas disponibilidades.

Tabela XI: Funcionamento do modelo com o número máximo de salas de MPA, observando-se os atrasos registrados nos turnos de trabalho. Atrasos pequenos (P) são os que duram de 1 a 30 minutos, médios (M) entre 31 e 60 minutos e os grandes (G) mais que 61 minutos. A sigla CA significa cirurgia adiada e acontecesse sempre que uma cirurgia não começa antes do horário de fechamento do CC

Variáveis	7 MPA c/ escala	15 MPA c/ escala	15 MPAs s/ escala
Perfil do modelo			
Entrada de pacientes	945	945	945
Total de cirurgias	945	945	945
Média diária de cirurgias	37,8	37,8	37,8
Utilização das salas (%)	77,7	78,2	20
Bloqueio das salas (%)	4,1	0,07	0
Utilização da equipe (%)	54	52,1	47
Cirurgia Geral e Otorrino.			
Cirurgia Pediátrica	58,8	55,9	40,8
Traumato-ortopedia e Urologia	53,7	51,8	44,5
Neurocirurgia	44,6	42,7	41,6
Cirurgia Vascular	43,6	43,2	38,8
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	47,7	47,2	42,4
Ginecologia e Oftalmologia	40	38,5	36,3
Bloqueio dos pacientes (%)			
Cirurgia Geral e Otorrino.	10,9	5,9	1,1
Cirurgia Pediátrica	15,8	11,7	0,5
Traumato-ortopedia e Urologia	10	6,4	0,3
Neurocirurgia	2,7	1	0
Cirurgia Vascular	7,4	4,7	0,1
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	6,9	4,8	0,2
Ginecologia e Oftalmologia	8,6	3,8	0,7
Tempo md (pré a pós) paciente			
Cirurgia Geral e Otorrino.	201,1	208,6	208,4
Cirurgia Pediátrica	190,2	194,2	195,3
Traumato-ortopedia e Urologia	202	206,9	204,3
Neurocirurgia	402,1	398,5	397,2
Cirurgia Vascular	232	240,4	238,6
Cir. Plástica, Torácica e Procto.	196,4	199,2	199
Ginecologia e Oftalmologia	177,1	183	184,2
Atrasos			
Segundas-feiras	M (G), T (G) e 1 CA	M(G) e T(G)	M(G) e T(G)
Terças-feiras	M (G), T (G) e 2 CA	M(M) e T(G) M(G), T(G) e 1	T(G)
Quartas-feiras	M(G)	CA	M(G)
Quintas-feiras	M(G) e T(G)	M(M) e T(G)	M(G) e T(M)
Sextas-feiras	Não ocorrem	T(G)	Não ocorrem

Esta Tabela (XI) mostra uma comparação entre o número atual de leitos de MPA (7), com o número máximo “teórico” de pacientes que podem ser atendidos e as estratégias que se utilizam de 15 leitos de MPA com e sem obediência da escala de funcionamento das salas cirúrgicas. Nota-se que a variável *Taxa de Bloqueio das Salas Cirúrgicas* é mais sensível à não obediência da escala de trabalho (redução maior) do que ao aumento do número de leitos de MPA. Fenômeno inverso parece ocorrer com a variável *Taxa de Bloqueio das Salas Cirúrgicas*. Já os atrasos cirúrgicos diminuem de acordo com as duas alterações, mas elas não parecem ser suficientes para a resolução deste problema.

A influência da inserção dos desvios-padrão na modelagem destes sistemas está ilustrada na Tabela XII, na qual simulações sem levar os mesmos em consideração foram conduzidas para efeito de comparação.

Tabela XII: Estudo da influência do uso dos desvios-padrão no modelo de simulação computacional. Tempo médio (pré a pós) significa o tempo total em que o paciente ficou sob cuidados médicos, ou seja, durante anestesia, cirurgia e pós-operatório

Variáveis	Nº de MPAs					
	7 MPAs c/ dp	7 MPAs s/ dp	8 MPAs c/ dp	8 MPAs s/ dp	9 MPAs c/ dp	9 MPAs s/ dp
Tempo médio (pré a pós) pac. Cirurgia Geral e Otorrino	201,1	193	204,4	199,4	207	202,8
Tempo médio (pré a pós) pac. Cirurgia Pediátrica	190,2	181,5	194,8	185,9	193	186,5
Tempo médio (pré a pós) pac. Traumato-Ortopedia e Uro	202	196,1	203,2	199,4	204,5	200,9
Tempo médio (pré a pós) pac. Neurocirurgia	402,1	394,2	401,9	394,6	393,2	395
Tempo médio (pré a pós) pac. Cirurgia Vascular	232	221,5	238,7	233,3	238,6	233,3
Tempo médio (pré a pós) pac. Cir. Plástica, Torax. e Procto.	196,4	190,3	197,1	190,8	199,5	191,1
Tempo médio (pré a pós) pac. Ginecologia e Oftalmologia	177,1	176,6	180,4	178,4	181,9	181,3

A Tabela XIII ilustra os resultados de diversas simulações nas quais alterações de quantidade de pacientes atendidos por *cluster* de equipe médica foram realizadas, de acordo com o tempo total (teórico) que cada *cluster* levaria para realizar as suas cirurgias,

tomando-se como referência os seus respectivos centróides de média, somados ao tempo de limpeza das salas (Tabela XIV).

Tabela XIII: Funcionamento do modelo utilizando-se diferentes estratégias quanto ao número de atendimentos. Atrasos pequenos (P) duram de 1 a 30 minutos, médios (M) entre 31 e 60 minutos e os grandes (G) mais que 61 minutos. A sigla CA significa cirurgia adiada e acontecesse sempre que uma cirurgia não começa antes do horário de fechamento do CC

Variáveis	Máx teórico	Alts 1 e 3 escala	Alts 1 e 3 s/ escala	Alts 1,3 e 4 escala	Alts 1,3 e 4 s/ escala	Alts 15 MPA escala	Alts 15 MPA s/ escala
Perfil do modelo							
Entrada de pacientes	945	800	800	785	785	785	785
Total de cirurgias	945	800	800	785	785	785	785
Média diária de cirurgias	37,8	32	32	31,4	31,4	31,4	31,4
Utilização das salas (%)	77,7	67,4	66,8	64,4	64,4	64,4	64,2
Bloqueio das salas (%)	4,1	3,1	0,9	3	0,95	0	0
Utilização da equipe (%)							
Cirurgia Geral e Otorrino.	54	33,6	31,2	33,1	31,2	33,2	31
Cirurgia Pediátrica	58,8	52,6	41,2	52,9	41,1	50,1	40,8
Traumato-orto. e Urologia	53,7	31,3	30,2	30,7	30,2	30,8	30,3
Neurocirurgia	44,6	43,5	45,7	20,9	20,9	20,8	20,9
Cirurgia Vascular	43,6	43,9	39,6	43,3	39,5	42,8	39,2
Cir. Plástica, Torax.e Procto.	47,7	46,1	42,7	45,9	42,6	45,6	42,3
Ginecologia e Oftalmologia	40	39,2	36,6	38,9	36,6	38,1	36
Bloqueio dos pacientes (%)							
Cirurgia Geral e Otorrino.	10,9	7,8	5,1	7,4	4,9	3,9	0,9
Cirurgia Pediátrica	15,8	11,5	2,9	10,7	3,1	7,2	0,3
Traumato-orto e Urologia	10	4,3	2,6	3,6	2,5	1,8	0,1
Neurocirurgia	2,7	1,9	0,8	1,7	1,7	0	0
Cirurgia Vascular	7,4	5,2	1,6	4,8	1,6	3,6	0,1
Cir. Plástica, Torax e Procto.	6,9	5,3	2,1	4,9	2,1	3,2	0,1
Ginecologia e Oftalmologia	8,6	7,5	5,5	7	5,2	3	0,6
Tempo md (pré a pós) paciente							
Cirurgia Geral e Otorrino.	201,1	201,9	200,8	201,4	200,4	209,7	209,5
Cirurgia Pediátrica	190,2	191,3	190	193,1	190,1	196,1	196
Traumato-orto e Urologia	202	201,9	201,2	202,2	202,3	205,3	207,6
Neurocirurgia	402,1	401,6	400,3	394,6	395,9	402,3	398
Cirurgia Vascular	232	239,8	237,5	240,1	236,2	238,5	237,9
Cir. Plástica, Torax e Procto.	196,4	196,6	197,4	196,4	196,2	200,1	199,5
Ginecologia e Oftalmologia	177,1	178,2	175,5	178,7	176,9	183,9	183,6
Atrasos	M (G), T (G) e 1 CA		Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem
Segundas-feiras		T(G)					
	M (G), T (G) e 2 CA	M(G) e T(G)		M(G) e T(G)	M(M)	M(M) e T(G)	Não ocorrem
Terças-feiras			T(G)	M(G), T(G) e 1 CA			
Quartas-feiras	M(G)	T(G) e 1 CA	M(G) e T(G)				Não ocorrem
	M(G) e T(G)		Não ocorrem		T(G)	M(G) e T(M)	Não ocorrem
Quintas-feiras		M(G)	Não ocorrem	M(G)	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem
Sextas-feiras	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem	Não ocorrem

Na Tabela XIII, pode-se reparar que a *média diária de cirurgias* cai conforme as estratégias de redução de número de pacientes/turno é colocada em prática, assim como caem as *taxas de utilização das salas cirúrgicas*. A *taxa de bloqueio das salas cirúrgicas* caem conforme a redução do número de pacientes, mas caem, principalmente, quando não se obedece a escala de funcionamento das salas cirúrgicas, mostrando sua maior sensibilidade à esta variável. As *taxas de bloqueio dos pacientes* caem de maneira semelhante sob influências das duas variáveis e os atrasos só ficam completamente evitados quando aumenta-se o número de leitos da unidade de MPA, quando se utiliza a estratégia de redução do número de atendimentos e quando não se obedece à escala de funcionamento das salas cirúrgicas.

Tabela XIV: Cálculo do número máximo de atendimentos que cada *cluster* poderia realizar por turno, segundo o modelo (centróide de média de duração dos procedimentos do *cluster* + tempo médio de limpeza das salas)

Agrupamento	Nº de pac por sala/turno	Tempo médio total por turno	Desvio-padrão por cirurgia
variáveis			
1	3	343,40 min.	52,48 min.
2	3	289,88 min.	63,75 min.
3	3	329 min.	61,96 min.
4	1	298,63 min.	169,97 min.
5	2	280,78 min.	91,57 min.
6	3	299,51 min.	72,04 min.
7	3	272,42 min.	28,58 min.

Devido aos atrasos constatados, decidiu-se adotar estratégias para encontrar o número “ideal” de pacientes a serem atendidos, uma vez que o máximo teórico não se mostrou satisfatório. Para isso, os agrupamentos 1 e 3 tiveram seu número de pacientes atendidos reduzido de 1 unidade por turno (em cada sala), por apresentarem seus tempos médio totais muito próximos do tempo limite de utilização das salas. Já o agrupamento 4, foi adicionado à estratégia de redução de cirurgias pois apresenta um desvio-padrão grande que gerava, muitas vezes, atrasos significativos que comprometiam o funcionamento do sistema.

A Tabela XV compara o desempenho atual do CC do hospital com o que seria o do sistema operando com o número “máximo teórico” de atendimentos, bem como o incremento que este geraria. A Tabela XVI, por sua vez, faz a mesma análise, porém comparando o comportamento do sistema real com o do sistema a com atendimento “máximo teórico” feitas as alterações nas equipes dos agrupamentos 1, 3 e 4 (menos um paciente por sala/turno).

Tabela XV: Cálculo da melhora de produtividade, por especialidade, que o atendimento do número máximo “teórico” de pacientes geraria, segundo o modelo

Especialidade	Total cir real	Média diária real	Total máx. teórico	Cir./ turno máx teórico	Turnos/semana	Incremento (%)
Variáveis						
Cirurgia Geral	2283	2,26	3864	3	7	69,25
Cirurgia Pediátrica	1946	1,92	2760	3	5	41,83
Cirurgia Plástica	1527	1,51	2760	3	5	80,75
Cirurgia Torácica	703	0,69	1656	3	3	135,56
Cirurgia Vascular	999	0,99	2208	2	6	121,02
Coloproctologia	878	0,87	2208	3	4	151,48
Ginecologia	1601	1,58	2760	3	5	72,39
Neurocirurgia	381	0,38	1104	1	6	189,76
Oftalmologia	3453	3,41	3864	3	7	11,90
Otorrinolaringologia	2286	2,26	4968	3	9	117,32
Traumato-Ortopedia	2337	2,31	5520	3	10	136,20
Urologia	1106	1,09	2208	3	4	99,64

Tabela XVI: Cálculo da melhora de produtividade, por especialidade, que a estratégia de atendimento de um paciente a menos por equipe/turno dos agrupamentos 1 e 3 geraria, segundo o modelo

Especialidade	Total cir real	Média diária real	Total cir alts 7 MPAs	7 Cir/turno alts 7MPAs	Turnos/semana	Incremento (%)
Variáveis						
Cirurgia Geral	2283	2,26	2576	2	7	12,83
Cirurgia Pediátrica	1946	1,92	2760	3	5	41,83
Cirurgia Plástica	1527	1,51	2760	3	5	80,75
Cirurgia Torácica	703	0,69	1656	3	3	135,56
Cirurgia Vascular	999	0,99	2208	2	6	121,02
Coloproctologia	878	0,87	2208	3	4	151,48
Ginecologia	1601	1,58	2760	3	5	72,39
Neurocirurgia	381	0,38	552	1	3	44,88
Oftalmologia	3453	3,41	3864	3	7	11,90
Otorrinolaringologi	2286	2,26	3312	2	9	44,88
Traumato-Ortopedi	2337	2,31	3680	2	10	57,47
Urologia	1106	1,09	1472	2	4	33,09

7. Discussão

A seleção da melhor estratégia é de competência dos administradores hospitalares e nunca do estudo de simulação computacional, que é apenas um auxiliar para tomadas de decisões. Isso porque existem diversos fatores que podem estar envolvidos no processo de decisão e não são levados em consideração em um estudo de simulação computacional, por exemplo: a política organizacional interna (hierarquia inalterável), política de contratação e/ou demissão de funcionários, o planejamento com relação à população que se pretende atender (quantitativa e qualitativamente), a disponibilidade e/ou disposição de recursos para a realização de obras e para a aquisição de equipamentos, a capacidade de absorção de um maior número de pacientes operados (leitos nas enfermarias para internação pré e pós-cirúrgica, bem como nas unidades de tratamento intensivo e semi-intensivo), dentre outros fatores de cunho gerencial. Portanto, cabe ao profissional responsável pela elaboração do projeto de simulação computacional, fazer os experimentos pertinentes, comunicar os resultados sob forma de relatórios detalhados para a diretoria e se disponibilizar para a prestação de quaisquer esclarecimentos com relação ao funcionamento do sistema ou de seu estudo.

Uma rotina de funcionamento, com bom desempenho, possui baixos tempos de espera, poucos atrasos, um grande número de pacientes atendidos e pequena variabilidade destas métricas (WEYLAND, 2003).

O modelo desenvolvido foi baseado em informações colhidas do banco de dados interno do CC. Apesar de, neste projeto, a maior parte dos dados estarem disponíveis em um banco de dados informatizado, também foi necessário coletar alguns manualmente em prontuários de papel, realizar entrevistas com profissionais e observar a rotina de funcionamento do setor, *in loco*.

Caso seja necessária a coleta manual dos dados ou mesmo a implementação de um sistema de informações, o projeto de pesquisa se torna bastante lento. Nem sempre os dados em prontuários são suficientes para atender às necessidades deste tipo de modelagem, necessitando de coletas extras *in loco*, que são demoradas, pois necessitam que um evento de interesse ocorra para que uma única observação seja registrada. Criar sistemas de informações é fundamental e muito difícil, porque depende do empenho dos profissionais

envolvidos e de investimentos financeiros para a estruturação e manutenção do sistema, como a criação de um departamento de informática, por exemplo.

Devido à diversidade de especialidades atuantes no hospital estudado, é esperado que não haja um tempo pré-definido que seja capaz de representar, com exatidão, o tempo médio de duração de todas as cirurgias. Ou seja, pela dispersão da amostra, tal valor médio não teria significado. Assim, a divisão da produção cirúrgica mensal (variável *clínica solicitante*) por especialidade se fez necessária para uma estimativa mais significativa dos tempos médios de duração de cirurgias (Tabela III). Assim, cada especialidade recebeu um tempo médio específico, segundo uma distribuição Normal (de acordo com DEXTER *et al*, 2003).

A identificação destes tempos médios se justifica pelo fato de estes serem os dados mais críticos para esta modelagem. Portanto, quanto mais acurados forem, mais fiel é a representação da realidade feita pelo modelo. Uma maneira muito comum de se estimar os tempos de cirurgia, e que foi utilizada neste projeto, é o uso do histórico de casos. Esta técnica pode ser aliada a uma opinião do médico responsável de acordo com a especificidade e complexidade do caso, para uma melhor estimativa, uma vez que, segundo KLEIN *et al* (1990), o trabalho médico é uma complexa combinação de atividades previstas e programadas com eventos aleatórios inesperados. Por exemplo, no caso de pacientes que sofrem de obesidade ou de outras doenças pré-existentes, as cirurgias podem ser mais longas, pois seus estados particulares podem exigir cuidados e preparos extras para complicações inesperadas (ZHOU *et al*, 1999). Em outro estudo, WRIGHT *et al* (1996) concordam com esta teoria e lançam a hipótese de que a opinião dos cirurgiões pode fornecer estimativas de tempo de cirurgias mais acuradas do que apenas o uso do histórico. No entanto, os autores enfatizam a necessidade de realização de mais estudos para se comprovar a eficiência da união da opinião pessoal do médico com o histórico de cirurgias, na estimativa mais acurada dos tempos médios de cirurgias e para obter-se um modelo simples capaz de realizar com eficiência esta predição.

Estes tempos médios também são importantes para a rotina de funcionamento do hospital devido à necessidade de se garantir a presença de equipe médica suficiente de plantão ou de se adequar à demanda, alocando os pacientes para horários coincidentes com a disponibilidade da equipe médica de plantão, de modo a diminuir seus custos.

O número de equipes cirúrgicas que trabalham no CC do Hospital da Lagoa não foi completamente conhecido por ocasião da construção deste modelo (variável *número de equipes cirúrgicas por especialidade*). Sabia-se apenas a relação dos médicos contratados, o que não interferiu nas análises, uma vez que se teve conhecimento da escala de trabalho das equipes cirúrgicas (variável *escala das equipes cirúrgicas*). Portanto, não era necessário saber quem integrava a equipe cirúrgica e sim, apenas, que determinada equipe estaria à disposição nos horários programados.

A variável *destino dos pacientes no pós-operatório* não foi utilizada, pois todos os pacientes que finalizavam suas cirurgias eram encaminhados à unidade de monitoramento pós-anestésico (MPA), dentro do próprio centro-cirúrgico, onde permaneciam em observação até que pudessem ser liberados para as enfermarias ou outras unidades de tratamento.

Foi testada a hipótese nula H_0 : sem diferença populacional das proporções e dos tempos, com Alfa=0,01. Em todos os casos, obteve-se um valor-p abaixo de 0,01 ou seja, todas as variações mostradas nas tabelas são estatisticamente significantes.

Na Tabela IX, as análises foram conduzidas variando o número de salas do setor de MPA do modelo, operando de acordo com a escala de funcionamento das salas cirúrgicas encontrada no hospital. Estas salas foram identificadas como sendo o ponto mais crítico deste sistema, por possuir poucas vagas em relação ao número de cirurgias realizadas. Na prática, é uma sala que passa por problemas constantes de superlotação. Quanto à taxa de ocupação das salas cirúrgicas, estas se mantiveram constantes a despeito das alterações. Os níveis de ocupação puderam ser considerados satisfatórios, uma vez que as taxas de tempo de limpeza e desinfecção das salas ficaram entre 5 e 6% e, somadas às taxas de ocupação, geram cerca de 80% de utilização efetiva das salas, sendo que a média de ocupação constatada por McKesson Corporation (B) (2002) em diversos hospitais (68%) e por WRIGHT et al (1996) em seus estudos (40 a 60%). Todavia, ainda não se encontram nas taxas consideradas ótimas pela literatura, cujo nível de ocupação deve variar entre 90 e 100%.

O bloqueio das salas cirúrgicas ocorre devido à falta de vagas nas unidades do MPA para os pacientes que acabaram de ser operados. Quando este fenômeno acontece, o paciente permanece aguardando e se recuperando da anestesia dentro de sua respectiva sala

cirúrgica, até que uma vaga no MPA esteja disponível. Com isso, esta sala cirúrgica fica impossibilitada de ser limpa e preparada para outra cirurgia, permanecendo, portanto, bloqueada. Evidentemente que, uma vez aumentando a quantidade de leitos no MPA, diminui-se o problema de falta de vagas e, conseqüentemente, diminui-se as taxas de bloqueio das salas cirúrgicas. Esta taxa de bloqueio foi considerada aceitável, neste estudo, quando inferior a 1% (a partir de 10 MPAs, nesta tabela).

O hospital realiza, de acordo com o banco de dados, uma média de 25 cirurgias diárias, aproximadamente. O “máximo teórico” indica que até 37,8 cirurgias poderiam ser realizadas diariamente, ou seja, um acréscimo de até 51,2 % na produtividade do setor.

Ainda de acordo com a Tabela IX, as taxas de utilização das equipes cirúrgicas não foram significativamente alteradas com o aumento no número de vagas no MPA, o que era esperado, pois não houve modificações no volume de trabalho das equipes (número de pacientes a serem atendidos). Já o tempo médio que o paciente permanece no sistema diminui, em geral, com o aumento dos leitos na MPA. Estes tempos médios se estabilizam a partir de um determinado número de leitos, dependendo do tipo de paciente, ou seja, da especialidade operante.

Essa flutuação dos tempos médios está relacionada principalmente com a taxa de bloqueio do paciente. Quando esta diminui o ritmo de queda, o tempo médio do paciente no sistema tende a se estabilizar. Outros fatores que alteram o este tempo médio é o atraso das cirurgias anteriores, o bloqueio das salas cirúrgicas (por falta de vagas na MPA) e o desvio-padrão dos tempos das cirurgias.

A redução dos tempos de cirurgia observada quando os desvios-padrões dos experimentos eram reduzidos para 0,001 minutos (praticamente nulos - Tabela XII), pode ser explicada pelo “truncamento em zero” nos casos em que a duração da cirurgia assumia valor negativo, ou seja, era possível que uma cirurgia (com probabilidade decrescente) assumisse um valor positivo ilimitado, mas, naturalmente, não valores negativos.

Os tempos médios (pré a pós-operatório) dos pacientes foram colocados no modelo como uma espécie de “análise de sensibilidade” cujo objetivo era verificar a robustez do modelo (qualidade), no sentido de que, mesmo alterando diversas configurações, estes tempos deveriam permanecer inalterados, porque eles obedecem exclusivamente às suas distribuições de probabilidade, mantidas constantes nas diversas programações. Contudo,

percebeu-se que quanto maior o número de vagas no MPA, maior era o tempo médio (pré a pós-cirúrgico) dos pacientes.

Isto acontece porque, quando o paciente chega ao final de sua cirurgia, lhe é solicitada uma vaga na unidade de MPA. Quando esta está lotada, o paciente permanece se recuperando na sua própria sala cirúrgica para, quando houver a disponibilização de uma vaga, ele ser deslocado de acordo com a ordem de solicitação. Todavia, mesmo aguardando na sala cirúrgica, o processo de recuperação pós-anestésica já foi desencadeado. Na verdade, este processo se inicia imediatamente após o começo dos trabalhos anestésicos. Porém, neste modelo, o tempo de recuperação pós-anestésica é conferido ao paciente (de acordo com uma distribuição de probabilidade Normal) somente no momento em que este adentra a MPA. Por isso, foi necessário, para os casos em que ocorriam esperas por vagas, criar um sistema que contabilizasse este tempo de espera para, posteriormente, diminuí-lo do tempo total de recuperação pós-anestésica do paciente, uma vez que, apesar de ser atribuído apenas no MPA, este tempo, no banco de dados, começa a ser contabilizado a partir do momento do final da cirurgia.

Nos relatórios da simulação, este tempo de espera é considerado como tempo de bloqueio da sala cirúrgica e não como tempo cirúrgico. Com isso, quanto maior o número de vagas no MPA, menor é a utilização deste recurso e, por conseguinte, maior é o tempo médio (pré a pós-cirúrgico) e menor o de bloqueio das salas. Nos casos em que o tempo de recuperação atribuído ao paciente na chegada ao MPA é menor que o tempo de espera por vaga do paciente, esta alteração indesejada dos resultados é agravada ainda mais. Por exemplo, se o paciente permaneceu esperando por vaga durante 15 minutos, mas o tempo que lhe seria atribuído de recuperação era de 10 minutos, para efeito dos resultados, ele “perdeu” 10 minutos no tempo médio (pré a pós-anestésico), não se recuperou por tempo nenhum e, “ganhou” 15 minutos a mais no tempo de bloqueio da sala cirúrgica.

Para finalizar as análises da Tabela IX, as taxas de bloqueio do paciente são determinadas por 3 fatores: espera do paciente por médicos (que ocorre na sala de pré-operatório), espera do paciente por vagas na MPA (semelhante à taxa de bloqueio da sala) e pelo desvio-padrão das cirurgias dos pacientes anteriores (que, por sua vez, influencia os dois primeiros fatores). Ao se aumentar às vagas de MPA, é esperado que aumente a velocidade dos trabalhos, aumentando, conseqüentemente, a velocidade de disponibilização

das equipes médicas, além de diminuir os casos de lotação do MPA. Assim, os dois primeiros fatores que influenciam a taxa de bloqueio dos pacientes ficam reduzidos, diminuindo-a. Já o terceiro fator, desvio-padrão dos tempos de procedimento dos pacientes anteriores, não pode ser alterado por nenhuma estratégia, uma vez que este é exclusivamente dependente das distribuições de probabilidades, pré-definidas.

A Tabela X se diferencia da anterior porque, nesta, as salas cirúrgicas estão sempre disponíveis, ao invés de abertas somente de acordo com a escala de trabalho (“shift”). Isso significa que as salas ficam abertas e disponíveis para uso, independentemente de qual equipe cirúrgica estava programada para operar, ou de se havia alguma programação na escala de funcionamento das salas. Essa alteração foi imaginada porque, quando o sistema operava com o máximo “teórico” de pacientes, era freqüente o número de atrasos no período da manhã, que interferiam no horário das cirurgias do turno da tarde, ao ocupar a sala que estava programada para uso de outra equipe no turno seguinte. Com outras salas abertas, a influência dos atrasos do turno da manhã no turno da tarde, naturalmente, diminuiria.

No que diz respeito aos atrasos, devido à grande gama de procedimentos realizáveis e às distintas características individuais dos pacientes, é possível que KLEIN *et al* (1990) tenham razão ao afirmar que o histórico dos casos, aliado à opinião dos médicos, forneceria a melhor estimativa de tempo de duração de procedimentos. No Hospital da Lagoa, a definição do número de cirurgias a ser realizadas é de responsabilidade exclusiva dos médicos. Porém, neste projeto, tal definição ficou por conta do histórico de casos. Nenhum dos dois casos foi suficiente para boas previsões, pois a realidade revelou baixa produtividade e a simulação com o máximo “teórico” de atendimentos gerou atrasos. Portanto, pode-se especular que a união destas duas estratégias poderia resultar em previsões mais acuradas dos tempos cirúrgicos. Para que esta estratégia possa ser adotada, de acordo com WRIGHT *et al* (1996), ainda é preciso que se desenvolvam modelos simples que estabeleçam a correta relação entre o histórico de casos e a opinião dos médicos.

Comparando seus resultados com os da Tabela IX, as taxas de ocupação das salas cirúrgicas também permanecem constantes com o aumento das vagas no MPA e são significativamente mais baixas que aquelas, fato explicado pela existência de diversas salas, que outrora estariam fechadas, se encontrarem abertas ou disponíveis, porém sem

procedimentos para abrigar. Outra constatação é que as taxas de bloqueio das salas também são mais baixas, atingindo o valor zero quando 15 vagas de MPA foram disponibilizadas. De todas as configurações simuladas com o máximo “teórico” de pacientes sendo atendidos, esta foi a única estratégia na qual não houve bloqueio das salas cirúrgicas em nenhum momento. Todavia, a taxa inferior a 1% (considerada aceitável) pôde ser alcançada com o acréscimo de apenas mais um leito na MPA, 2 leitos a menos que as estratégias que obedecem a escala de trabalhos.

Continuando as análises da Tabela X, as taxas de utilização das equipes médicas novamente não mostram alterações importantes como aumento das salas de MPA. Ocorre uma pequena diminuição dessas taxas com o aumento do número das MPAs por causa da redução do tempo gasto (desperdiçado) da equipe médica com o paciente na sala de pré-operatório, à espera de sala cirúrgica disponível. Além disso, são mais baixas que as taxas com “shift”, pois com a diminuição da influência dos atrasos do turno da manhã no turno da tarde, ocorre um aumento na velocidade de atendimento, antecipando o fim dos trabalhos e mantendo as equipes disponíveis por um período de tempo maior.

A aceleração dos trabalhos das equipes médicas também gera uma diminuição nos tempos médios que os pacientes permanecem no sistema. Tal redução também está associada à diminuição da taxa de bloqueio do paciente, bem como dos outros fatores discutidos na análise da tabela anterior.

Os tempos médios (pré a pós-cirúrgico) também estão condicionados ao processo descrito anteriormente de aumento conforme aumentam as vagas de MPA e são, em geral, maiores que os tempos das estratégias com “shift” por terem menos problemas de lotação daquelas vagas.

As taxas de bloqueio dos pacientes da Tabela X possuem os mesmos fatores determinantes que as da Tabela IX e também são mais baixas por ter menos problemas de lotação das vagas de MPAs, chegando a zero nos pacientes do tipo 4 (neurocirurgia).

A Tabela XI estabelece uma comparação entre a situação real com o máximo “teórico” de pacientes sendo atendidos e as estratégias com o máximo de salas de MPA utilizáveis segundo o modelo, com ou sem obediência à escala de trabalho das salas. Pela observação das taxas de utilização das salas cirúrgicas, percebeu-se que 15 vagas de MPAs praticamente não as alteram. Estas taxas parecem ser mais sensíveis ao cumprimento da

escala de funcionamento das salas cirúrgicas, haja vista que elas sofrem uma grande variação quando a escala não é seguida. Fenômeno inverso ocorre com as taxas de bloqueio das salas, que decrescem a quase zero com o aumento dos leitos de MPA, enquanto que o “shift”, neste caso, parece ter relevância apenas secundária ou complementar. Já os resultados obtidos quanto às taxas de bloqueio dos pacientes sugerem que esta é sensível às duas alterações de maneira semelhante.

A utilização pelo modelo dos valores máximos “teóricos” revelou problemas de atrasos nos turnos de trabalho. A forma na qual eles acontecem está exibida na Tabela XI, sendo classificados em: pequenos (P) para atrasos entre 1 e 30 minutos, médios (M) para atrasos entre 30 minutos e 1 hora e grandes (G) para atrasos superiores a 1 hora. Fora isso, em alguns dias este problema se mostrou tão agravado que houve cirurgias adiadas (CA), que são cirurgias que não puderam começar antes das 19:30h (horário de fechamento das salas cirúrgicas). O aumento do número de leitos de MPA aliviou um pouco o problema, não parecendo ser um fator decisivo para a resolução desta questão. Esta tabela também não permite afirmar se a não-obediência da escala de trabalho realmente diminui a influência dos atrasos do turno da manhã no turno da tarde.

Com relação ao grande número de pacientes atendidos, no caso do hospital deste projeto, dificilmente seria viável o aumento da capacidade da unidade de MPA para 15 pacientes, por exemplo, para que, juntamente com as alterações propostas, se atinjam as condições “ideais” de funcionamento do CC, com média diária de 31,4 cirurgias diárias (25,6% superior), pois tais modificações implicariam em grandes gastos na compra de equipamentos e nas modificações físicas do CC (a unidade de MPA não comportaria tal aumento do número de leitos sem ampliação ou duplicação). Além disso, teria que avaliar-se a capacidade das enfermarias e de outras unidades de receber os pacientes “extras”.

O número máximo “teórico” de atendimentos foi calculado com base no histórico dos casos (banco de dados), incorporando também os tempos de limpeza das salas cirúrgicas, conforme pode ser visto na Tabela XIV. Esta é uma técnica difundida pela literatura e, talvez, a mais comumente utilizada. Porém, esta técnica não evitou atrasos nos turnos de trabalho. Na realidade, a diversidade de procedimentos a serem realizados juntamente com as características peculiares de cada paciente, tornam este processo de predição dos tempos cirúrgicos uma tarefa bastante mais complexa. A junção de todos os

procedimentos que uma especialidade pode realizar em um único conjunto com o objetivo de se encontrar um tempo médio único padrão para esta, é uma tentativa de simplificação do processo de modelagem que conflui para o ajuste dos dados a distribuições de probabilidade Normais com desvios-padrão altos. O agrupamento das especialidades amplifica ainda mais esta conseqüência.

Neste projeto, para contornar o problema dos atrasos, elaborou-se estratégias com o número de pacientes por turno menor, ou seja, baseado no máximo “teórico” de atendimentos, porém com alterações. O critério para a escolha de que especialidade teriam sua cota de paciente reduzida foi o de proximidade com o tempo limite do turno (mais de 300 minutos necessários) e, para o caso específico do agrupamento 4, o alto desvio-padrão (169,97 minutos) que, freqüentemente, gerava cirurgias maiores que 360 minutos, apesar de a média estar bem abaixo deste valor (269,63 minutos). Desta forma, uma estratégia era baseada na redução de 1 paciente por sala/turno nos agrupamentos 1 e 3 e a outra estratégia contava ainda com esta mesma redução atingindo também a equipe 4 (Tabela XIII).

Analisando a Tabela XIII, pôde-se constatar que, apesar das reduções, acrescentando a taxa de utilização das salas os tempos necessários para limpeza (entre 5 e 6%), continua-se tendo médias de utilização das salas em níveis mais elevados que o encontrado rotineiramente, de acordo com a literatura.

Já as taxas de bloqueio das salas cirúrgicas foram para níveis aceitáveis (abaixo de 1%) em ambas as estratégias com redução de paciente e sem obedecer ao “shift”, não se mostrando significativamente reduzida entre elas. As taxas de utilização das equipes médicas caíram principalmente nos *clusters* que tiveram sua cota de pacientes reduzida. Porém, também caíram, em graus variados, nos demais agrupamentos, pois com a redução do número de atendimentos, reduziu-se as esperas por vagas no diversos setores do CC, aumentando-se a velocidade de realização dos trabalhos e diminuindo-se, conseqüentemente, as taxas de utilização das equipes médicas como um todo.

A taxa de bloqueio dos pacientes, ainda com base na Tabela XIII, é sensível a diversos fatores. Ela diminui conforme cai a demanda de pacientes, conforme eleva-se o número de vagas disponíveis no MPA e também quando não se segue a escala de funcionamento das salas cirúrgicas, chegando aos patamares “ideais” quando estes três fatores ocorrem simultaneamente (15 MPAs alts s/ shift). Os tempos médios (pré a pós-

cirúrgico) dos pacientes se mantiveram relativamente constantes enquanto se alterava apenas o número de atendimentos diários, resultado este que comprova a qualidade do modelo criado, uma vez que estes valores não deveriam realmente se modificar. As únicas modificações ocorreram quando se aumentou o número de leitos no MPA, conforme explicado anteriormente.

As Tabelas XVI e XVII comparam a situação atual do hospital com a realidade que, segundo o modelo, se estabeleceria caso o máximo “teórico” de pacientes atendidos fosse objetivado (se a estratégia de 9 leitos de MPA, sem “shift”, fosse implementada) ou caso a redução de 1 paciente por sala/turno nas especialidades dos agrupamentos 1 e 3 fosse selecionada, respectivamente. Estas tabelas mostram a escala semanal de turnos de cada especialidade, a quantidade máxima de cirurgias realizáveis por cada uma delas e as melhorias de desempenho que poderiam ser obtidas com a adoção das diferentes estratégias. Tais melhorias de desempenho poderiam ser entendidas como redução do tempo de espera por cirurgia dos pacientes que ainda aguardam pela marcação de suas cirurgias, no caso da instituição onde este projeto foi desenvolvido (pública) ou poderiam representar aumento na arrecadação e, portanto, dos lucros, em hospitais privados.

Uma característica de todos os projetos de simulação computacional publicados, que dificulta a sua realização, é a inexistência de uma fórmula aplicável a todos os hospitais e, inclusive, dentro de diferentes setores de um mesmo hospital. Como esta modelagem reflete o funcionamento de um hospital ou setor específico, ao retratar as suas peculiaridades, é impossível que ela sirva também para outras áreas, com profissionais e características distintas. O que existe é apenas uma espécie de “guia” para a construção destes modelos, o que é insuficiente para levar êxito a um projeto elaborado por um profissional inexperiente e/ou com pouco tempo para a sua realização.

Este estudo possuiu algumas limitações no cumprimento da sua proposta inicial, como, por exemplo, na questão de predição dos tempos cirúrgicos. As simplificações que tiveram que ser feitas, aliadas à falta de modelos na literatura que aliam o histórico de casos com a experiência dos médicos, geraram tempos menos acurados que o desejado, uma vez que, ocasionavam atrasos nos turnos de funcionamento do CC. Na verdade, esta é uma limitação que qualquer trabalho realizado nos moldes deste encontraria, pela inexistência de tais modelos na literatura, até o momento.

Poucos trabalhos deste tipo estão publicados na literatura, em grande parte pelo fato de a simulação computacional ser uma ferramenta relativamente nova e pouco difundida. Entretanto, todos os estudos que utilizaram esta técnica de modelagem em sistemas hospitalares, obtiveram êxito nas suas proposições.

8. Conclusões

Com relação aos tempos de espera, neste estudo, esta questão não pôde ser focada, pois tratou-se apenas de cirurgias eletivas pré-agendadas e que, portanto, não sofrem tanta influência desta variável.

A Tabela XIII permite concluir que estes atrasos poderiam ser amenizados com a redução da demanda de trabalho, com o não cumprimento da escala de salas cirúrgicas e com o aumento do número de vagas no MPA, visto que apenas na estratégia na qual estes três fatores confluíam, os atrasos foram completamente eliminados.

Segundo os achados deste estudo, pode-se dizer que a simulação computacional baseada em eventos discretos mostrou ser uma poderosa ferramenta para auxiliar tomadas de decisão, no que diz respeito a modificações estruturais, de recursos e de rotinas de processos, bem como ao estudo e entendimento do funcionamento do sistema e às análises de estratégias para aumento de produtividade e/ou redução de custos, ou seja, esta ferramenta possui flexibilidade e dinamismo suficientes para modelar com eficiência os complexos sistemas hospitalares. Prova disso é que nem todas as modificações feitas geraram as conseqüências “óbvias” esperadas. Sua capacidade de predição dos acontecimentos é uma capacidade peculiar deste tipo de ferramenta e o torna ímpar para analisar sistemas hospitalares. Devido a estas vantagens, a simulação computacional revelou ser a ferramenta “ideal” para auxílio nos processos de redesenho dos setores de Saúde, de entendimento do sistema como um todo, de correção de falhas, de identificação de pontos críticos e de busca por melhorias de desempenho. Porém, não é uma ferramenta muito simples, requer um treinamento adequado do pessoal responsável pelo seu uso. Seria bastante interessante que se pudesse colocar as conclusões deste trabalho em prática para observar os seus efeitos na realidade hospitalar porém, tal aplicação não faz parte dos objetivos deste projeto.

Para o hospital, talvez a melhor estratégia, baseada nos resultados do modelo, seria a de alterar apenas o volume de pacientes das equipes constituintes dos agrupamentos 1 e 3, pois os ganhos que poderiam ser conseguidos com a redução dos pacientes da equipe 4 são muito pequenos. A média de atendimentos diários “ideal”, sem que o sistema sofra qualquer modificação seria de até 32 cirurgias (até 28% mais produtivo). Sugere-se que este

deveria ser a média máxima e não uma meta fixa, pois a experiência dos cirurgiões deveria ser levada em consideração no processo de predição de cirurgias, principalmente as sabidamente mais complicadas, com o intuito de minimizar os inconvenientes atrasos nos turnos de trabalho. Esta escolha implicaria ainda em ter que se conviver com alguns problemas (principalmente de lotação da unidade de MPA), mas geraria um aumento de produtividade sem custos iniciais. Na verdade, esta meta funcionaria mais como um alvo a ser atingido, uma vez que alterações, propriamente ditas, não estão em questão nesta estratégia, com exceção da não obediência da escala de funcionamento das salas cirúrgicas. Para que esta estratégia pudesse ser posta em prática, seria necessário um trabalho em conjunto com as equipes médicas e de enfermagem de explicação, convencimento, redução dos desperdícios dos tempos cirúrgicos e de verificação da capacidade, física e estrutural (equipamentos, funcionários e serviços de hotelaria, por exemplo) do hospital de abrigar os pacientes resultantes deste aumento da produtividade.

Dentre as estratégias que dependem de alterações, ou seja, de investimento de recursos, a sugestão mais razoável poderia ser a alternativa que dispõe de 9 leitos na unidade de MPA, sem obediência à escala de funcionamento das salas cirúrgicas (Tabela X). Esta escolha se basearia no fato de que, apesar de ainda alguns problemas permanecerem fazendo parte da rotina do setor, os seus impactos no fluxo de atendimentos do CC seriam bastante reduzidos e no fato de que um aumento maior do número de leitos representaria um custo ainda mais elevado, sem melhorias compatíveis. Nesta situação, o máximo “teórico” de pacientes atendidos diariamente poderia ser respeitado como uma meta flutuante, representando 51,2% de melhoria na produtividade, mas sempre levando-se em consideração a opinião dos cirurgiões quanto ao tempo de duração do ato cirúrgico, com cuidado para não gerar novamente desperdícios do tempo cirúrgico. Mais uma vez, a cuidadosa avaliação da capacidade de absorção destes “novos” pacientes pelo hospital seria muito importante.

Ambas as estratégias mantêm constante a carga horária de trabalho das equipes médicas. Existem disponíveis, no atual quadro de funcionamento do CC, 39 salas (1 turno cada) ao longo da semana, que poderiam ser ocupadas em casos de maior urgência. Para seu uso rotineiro, seria necessária uma avaliação nos contratos dos funcionários para averiguar a necessidade de novas contratações.

Referências Bibliográficas:

- ANDERSON, J.G., 2002, "Evaluation in Health Informatics: Computer Simulation." *Computers in Biology and Medicine*, v. 32, pp. 151-164;
- BEECH,R., BROUGH,R.L. & FITZSIMONS, B.A., 1990, "The Development of a Decision-support System for Planning Services within Hospitals." *Journal of the Operational Research Society*, v. 41, n. 11, pp-995-1006;
- BERWICK , D., 2003, "Disseminating Innovations in Health Care". *Journal of the American Medical Association*, v. 289, n. 15, pp-1969–1975;
- BIBLIOMED INC., 2002. "Custos Hospitalares." . Disponível na internet URL<<http://corporativo.bibliomed.com.br/lib/ShowDoc.cfm?LibDocID=175&ReturnCatID=2>> [23/08/2003];
- BORBA, G.S. & RODRIGUES, L.H. , 1998, "Simulação Computacional Aplicada a Sistemas Hospitalares". *Revista Eletrônica de Administração*, 8 ed , v. 4, n. 1, Jul-Ago;
- BRAILSFORD, S., 1994, "Health care management - A case for simulation." *OR Insights*, v. 8, n. 2 (Abr-Jun), pp 4-6;
- BRONZINO, J.D., ENDERLE, J.D. & BLANCHARD S.M., 2000. *Introduction to Biomedical Engeneering*. 1ed. London, Academic Press.
- CALÔBA, G.M., LOPES, M.G., LEVENTHAL, et al., 2003, "Simulação do Setor de Maternidade de um Hospital Público da Cidade do Rio de Janeiro.", In: *Simpósio de Pesquisa Operacional, SBOP XXXIV A Pesquisa Operacional e as Cidades*, pp. 8-11 Rio de Janeiro, Novembro;

- DA COSTA, M.A.B., 2002, "Simulação de Sistemas". Apostila de aula. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos;
- DEXTER, F. et al., 1999, "Forecasting Surgical Groups' Total Hours of Elective Cases for Allocation of Block Time.". *Anesthesiology*, v. 91, pp. 1501-1508;
- DEXTER, F. et al., 2003, "Operating Room Utilization Alone Is Not an Accurate Metric for the Allocation of Operating Room Block Time to Individual Surgeons with Low Caseloads". *Anesthesiology*, v. 98, pp 1243-1249;
- DEXTER, F. & MACARIO, A., 2002, "Changing Allocations of Operating Room Time From a System Based on Historical Utilization to One Where the Aim is to Schedule as Many Surgical Cases as Possible.". *Anesthesia & Analgesia*, v. 94, pp. 1272-1279;
- FETTER, R. B. & THOMPSON J. D., 1965, "The simulation of hospital systems." *Operational Research*, v.13, pp. 689-711;
- FUSCO, C.A., 1996, "Usamos e aprovamos o "Medmodel". *Boletim Fluxus*, Belge Engenharia e Sistemas, Maio. Disponível na internet URL: <http://www.belge.com.br/noticias/boletim/maio_96/index.htm> acesso 22/02/2005
- GOVE, D. & HEWETT, D., 1994, "A hospital capacity planning model." *OR Insights*, v. 8, n. 2 (Abr-Jun), pp. 12-15;
- GROOTHUIS, S., 2001, "Simulation as Decision Tool for Capacity Planning.". *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 66, pp. 139-151;
- HAM, C. et al., 2003, " Redesigning Work Process in Health Care: Lessons from the National Health Service". *The Milbank Quarterly*, v. 81, n. 3, pp. 415-439;

HARRELL, C.R. & PRICE, R.N., 2003, "Simulation Modeling Using Promodel Technology". In: *Proceedings of The 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 175-181, New Orleans, USA, December;

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1994. *Anuário Estatístico Brasileiro*. Rio de Janeiro, IBGE;

JEON A.A., 1995, "A Hospital Administrator's View of The Operating Room". *Journal of Clinical Anesthesia*, v. 7, Novembro, pp. 585-588;

JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W., 1992, *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 3 ed. New Jersey, Prentice Hall.

KLEIN R.W. et al, 1990, "Using Discrete Event Simulation to Evaluate Housestaff Work Schedules". In: *Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference*, pp. 738-742, New Orleans, USA, December;

LAW, A.M., 2003, "How to Conduct a Successful Simulation Study". In: *Proceedings of The 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 66-70, New Orleans, USA, December;

MARUYAMA, N. , MIYAGI, P.E. & FILHO, D.J.S., 2003. Apostila de aula. Curso de ProModel.

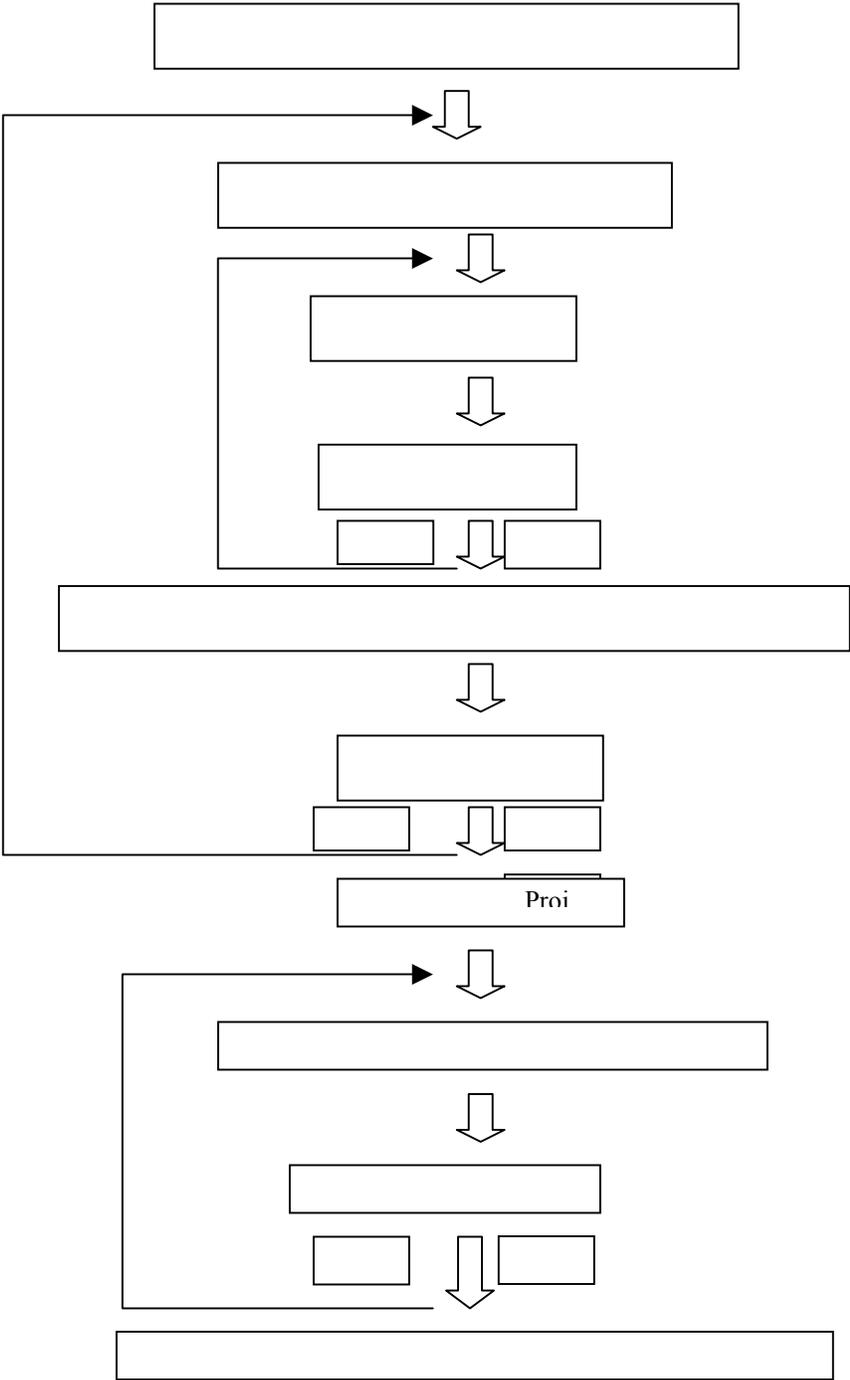
McKESSON CORPORATION (A), 2002, "Profit Opportunities Still Exist In the Operating Room". *Healthc Financ Manage*, v. 56, n.10 (Oct), pp.1-8;

McKESSON CORPORATION (B), 2002, "Comprehensive Performance Management in The Operating Room". *Healthc Financ Manage*, v. 56, n. 12 (Dec), pp. 1-7;

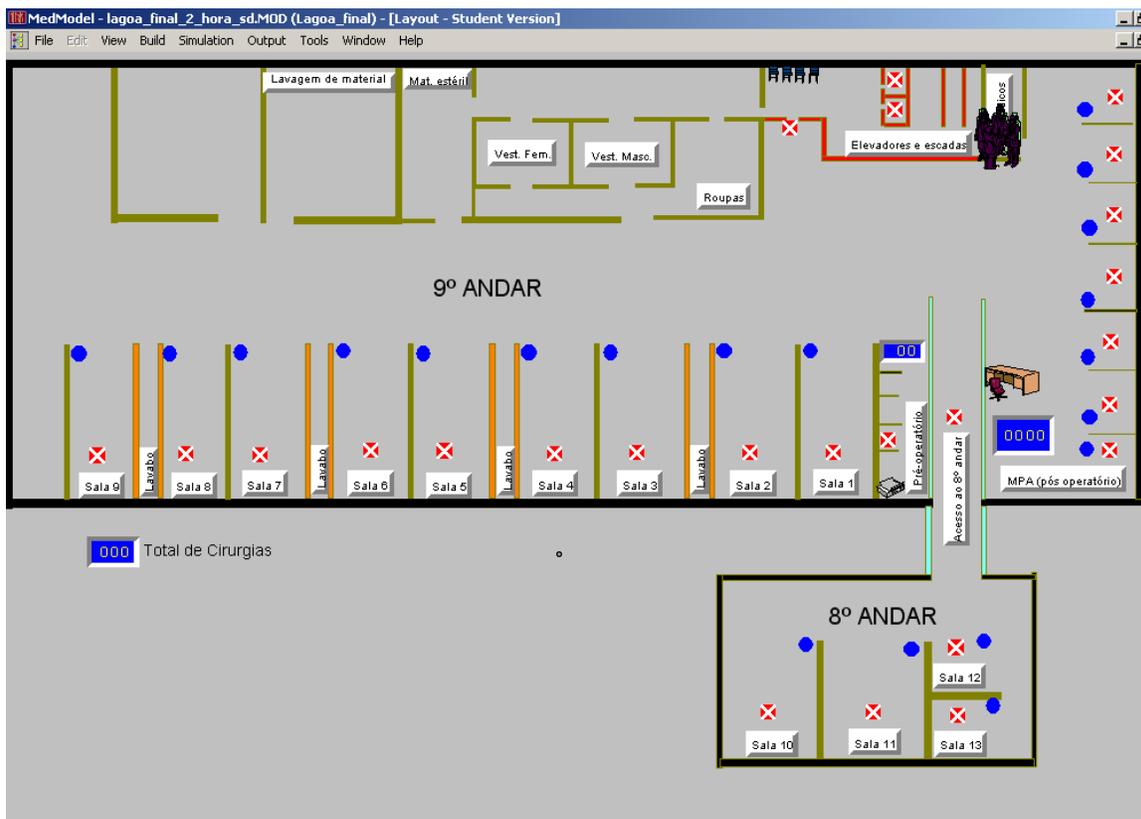
- MORRISON, B.P. & BIRD, B.C., 2003, "A Methodology For Modeling Front Office and Patient Care Processes in Ambulatory Health Care". In: *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, pp. 1882-1886, New Orleans, USA, December;
- NALL, D.N., 1995, "Computer Simulation streamlines ambulatory surgery patient flow and increases capacity at Bay Medical Center." *Strategies for Healthcare Excellence*, v. 5, n. 4, pp 9-12;
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 2001. *O Perfil do Sistema de Serviços de Saúde – Brasil*. 2ed. Disponível na Internet URL<http://www.opas.org.br/servico/arquivos/perfil2000_wc.pdf> [22/08/2004];
- PAUL R.J., HLUPIC V. & GIAGLIS G.M., 1998, "Simulation Modelling of Business Processes". In: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Washington, USA, December;
- RILEY, L.A., 1999, "Applied Simulation as Decision Support System Tool: The desing of a New Internal Medicine Facility.". In: *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences*. pp. 1-6 Hawaii, USA, January;
- SAMAHA, S. et al., 2003, "The Use of Simulation to Reduce The Length of Stay in an Emergency Department".In: *Proceedings of The 2003 Winter Simulation Conference*, pp.1907-1911, New Orleans, USA, December;
- SPANGLER, W. et al, 2004, "Estimating Procedure Times for Surgeries by Determining Location Parameters for the Lognormal Model". *Health Care Management Science*, v. 7, pp. 97-104;
- STRUM et al, "Estimating Times of Surgeries With Two Component Procedures". *Anesthesiology*, v. 98, pp. 232-240;

- STURROCK, D.T. & RATHMELL, J., 2002, "The Arena Product Family: Enterprise Modeling Solutions." In: *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, pp. 165-172, San Diego, USA, December;
- SU, S. & SHIH, C.L., 2003, "Modeling an Emergency Medical Services System Using Computer Simulation". *International Journal of Medical Informatics*, v. 72, pp. 57-72;
- WALKER,R. & ADAM, J., 2001, "Changing Time in an Operating Suite". *International Journal of Nursing Studies*, v. 38, pp 25-35;
- WEINBROUM, A.A., 2003, "Efficiency of the Operating Room Suite". *The American Journal of Surgery*, v.185, pp. 244-250;
- WEYLAND, J.H., 2003, "Towards Simulation-Based Business Process Management". In: *Proceedings of The 2003 Winter Simulation Conference*, pp.225-227, New Orleans, USA, December;
- WIINAMAKI, A. & DRONZEK, R., 2003, "Using Simulation in the Architectural Concept Phase of an Emergency Department Design". In: *Proceedings of The 2003 Winter Simulation Conference*, pp.1912-1916, New Orleans, USA, December;
- WORTHINGTON, D., 1991, "Hospital waiting list management models." *Journal of the Operational Research Society*, v. 42, n. 10, pp-833-843;
- WRIGHT, I.H. et al, 1996, "Statistical Modeling to Predict Elective Surgery Time: Comparison with a Computer Scheduling System and Surgeon-provided Estimates". *Anesthesiology*, v. 85, n. 6, pp. 1235-1245;
- ZHOU, J. et al, 1999, "Relying Solely on Historical Surgical Times to Estimate Accurately Future Surgical Times Is Unlikely to Reduce the Average Length of Time Cases Finish Late". *Journal of Clinical Anesthesia*, v. 11, pp. 601-605.

Anexo 1

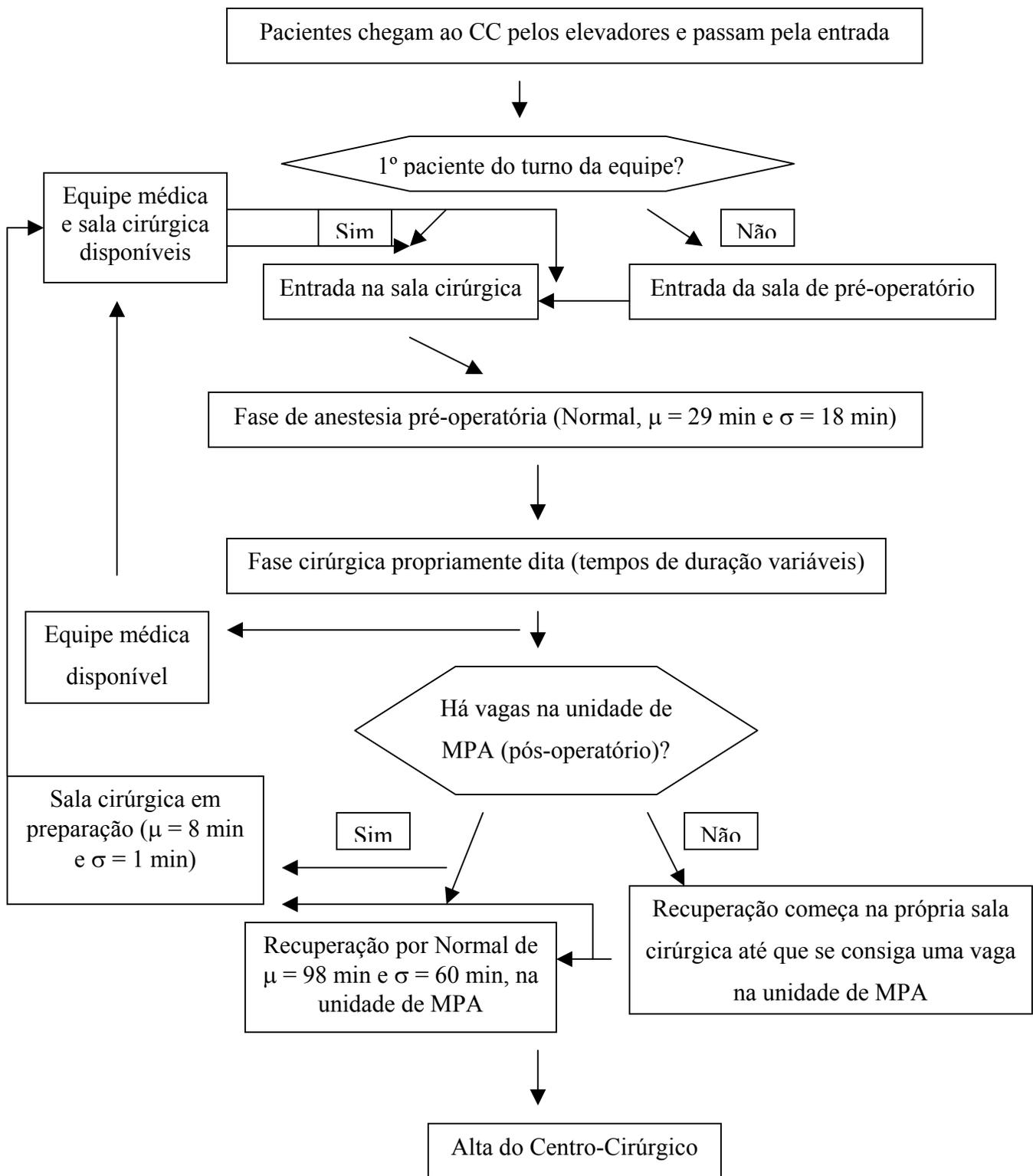


Anexo 2



Anexo 2: *Lay out* do modelo, com 13 salas cirúrgicas (duas salas estão desativadas).

Anexo 3



Anexo 4

Variáveis banco de dados/ qualidade de preenchimento	Satisfatória	Insuficiente	Não preenchida
Data da cirurgia	X		
Número do prontuário	X		
Sala cirúrgica	X		
Nome do paciente	X		
Sexo	X		
Idade		X	
Q Leito		X	
Data de internação			X
Duração prevista	X		
Hora Inicio Prevista	X		
Tipo de cirurgia	X		
Cirurgia Proposta	X		
Clínica solicitante	X		
Tipo de anestesia proposta		X	
Cirurgia realizada	X		
Tipo de anestesia realizada		X	
Suspensão/Atraso			X
Substituição			X
Responsável			X
Sala Arrumada	X		
Chegada do paciente	X		
Chegada da enfermagem		X	
Chegada do anestesista		X	
Chegada do Cirurgião		X	
Início da anestesia	X		
Início da cirurgia	X		
Fim da anestesia	X		
Fim da cirurgia	X		
Saída do paciente		X	
entrada no pós anestésico		X	
saída do posanestésico		X	
Destino		X	
Observação		X	
Asa			X
Local			X
Cirurgia de emergência			X
Materiais/equipamentos			X
Sangue			X
Tipo sangue			X
Quant bolsas			X
CTI			X

Duração cirurgia			X
Cirurgião			X
Anestesista			X
Auxiliar			X

