



ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2009.

SPOLM2009

031/2009 - Uma proposta para aumento de cirurgias utilizando simulação em centro cirúrgico

Leonardo Antonio Monteiro Pessôa

CASNAV/COPPE-UFRJ

Centro de Tecnologia – Cidade Universitária – Rio de Janeiro-RJ

lampessoa@terra.com.br

Marcos Pereira Estellita Lins

COPPE-UFRJ

Centro de Tecnologia – Cidade Universitária – Rio de Janeiro-RJ

estellita@pep.ufrj.br

Resumo

Este trabalho apresenta a modelagem do centro cirúrgico de um hospital público de ensino, utilizando simulação a eventos discretos. A administração considera a produção cirúrgica baixa em face da capacidade. Objetiva-se a realização de experimentos, simulando alterações de recursos e de programações de cirurgia, criando cenários alternativos de funcionamento e, analisando os impactos dos mesmos sobre o número de cirurgias realizadas.

Palavras-Chaves: Simulação a Eventos Discretos; Hospital; Centro Cirúrgico.

Abstract

This paper presents the modeling of the surgical center of a public teaching hospital, using discrete-event simulation. The administration considers the production below capacity. Objective is the realization of experiments, simulating changes in resources and surgery schedules, presenting alternative scenarios of operation and, analyzing its impacts on the quantity of surgeries performed.

Keywords: Discrete Event Simulation; Hospital, Surgical Center.

1. INTRODUÇÃO

São frequentes as observações quanto à deficiência do serviço público de saúde, motivadas em grande parte por escassez de recursos, sejam materiais ou humanos. Desta forma destaca-se como um campo promissor de atuação da pesquisa operacional, a fim de promover a maximização dos resultados com a minimização de insumos. Entretanto, a

experimentação direta em serviços de saúde pode incorrer em efeitos danosos aos pacientes, caso as alterações ao sistema prejudiquem seu desempenho. O método de simulação a eventos discretos tem afinidade especial para estudo desta área, possibilitando a avaliação prévia de cenários, não necessitando de implementação para verificar a resposta do sistema.

Diversos trabalhos contemplam o uso de simulação para a descrição de funcionamento e melhoria de desempenho de centros cirúrgicos.

VanBerkel e Blake [1] encontram na simulação a eventos discretos, uma ferramenta para auxílio à decisão no planejamento da capacidade e análise de desempenho da Divisão de Cirurgia Geral do Hospital de ensino Queen Elisabeth II em Halifax, Canadá.

Marjamaa et al. [2] utilizam a simulação a eventos discretos na comparação de custos e eficiência, para o provimento de ótima utilização de recursos como apoio à decisão. Para tal consideram o fluxo paralelo de anestesia para melhora de desempenho.

Carter e Blake [3] apontam importantes questões sobre as dificuldades de utilização de técnicas de Pesquisa Operacional no campo da saúde. Também comentam sobre os impactos de longo prazo das decisões concernentes aos locais de ensino de medicina e enfermagem. Em especial tratam casos aplicados em simulação de modelo para o departamento de emergência de cuidado intensivo e, programação de cirurgias para redução do tempo de espera em hospital pediátrico.

Em especial, Torres [4] constrói simulação referente a centro cirúrgico, servindo como inspiração inicial para o modelo aqui construído. O presente trabalho busca apresentar alternativas que colaborem para o aumento da realização de procedimentos cirúrgicos no objeto de estudo, em face da baixa produção cirúrgica em relação a sua capacidade, já sinalizada em relatório de gestão de anos predecessores. Serão contempladas as especialidades de:

- Cirurgia Cardíaca;
- Cirurgia Geral;
- Cirurgia Ginecológica;
- Neurocirurgia;
- Oftalmologia;
- Cirurgia Oral;
- Otorrinolaringologia;
- Ortopedia;
- Cirurgia Pediátrica;
- Cirurgia Plástica;
- Proctologia;
- Cirurgia Torácica;
- Urologia; e
- Cirurgia Vascular

Como objetivos este trabalho pretende:

- a construção de modelo de simulação a eventos discretos, utilizando uma plataforma limitada de simulação, capaz de descrever aproximadamente o funcionamento do Centro Cirúrgico do hospital estudado;

- a calibração do modelo a partir de dados históricos conforme a filosofia de emprego utilizada; e

- experimentação de alterações para verificação de possíveis melhorias no desempenho do sistema.

2. MODELAGEM E CARACTERÍSTICAS

A construção de qualquer modelo implica impossibilidade de reprodução perfeita do sistema modelado. Entretanto, o conhecimento das limitações do modelo é útil para a análise contextual dos resultados do experimento. A primeira limitação já é obtida pela complexidade do processo cirúrgico.

Cada cirurgia, mesmo classificável pela especialidade, envolve sub-especialidades e aspectos, como habilidade especial do cirurgião ou características especiais do paciente, cuja representação não pode ser reproduzida. O afastamento destas particularidades foi necessário para a modelagem e quantificação, mas também propiciou um ganho analítico pela visão holística do sistema.

Utilizando-se este balizamento o sistema foi construído da seguinte maneira:

Foram consideradas, como entidades, o paciente e o médico. Para a diferenciação entre as especialidades médicas e das cirurgias adequadas aos pacientes foi criado um atributo específico. Os Técnicos em Enfermagem, Instrumentadores e Anestesiologistas foram representados como recursos.

O anestesiologista é utilizado somente no procedimento cirúrgico, enquanto os técnicos são utilizados também na limpeza e preparação da sala cirúrgica e no deslocamento do paciente entre os locais do modelo.

Foram construídos no modelo, para representar a estrutura do centro cirúrgico, os seguintes locais: salas cirúrgicas; a entrada dos pacientes; sala de pré-operatório; sala de espera dos médicos; sala de pós-operatório; e saída.

2.1. DESCRIÇÃO SIMPLIFICADA DO SISTEMA

Para a construção do modelo partiu-se de um fluxograma descrevendo simplificada o sistema, conforme mostra a figura 1

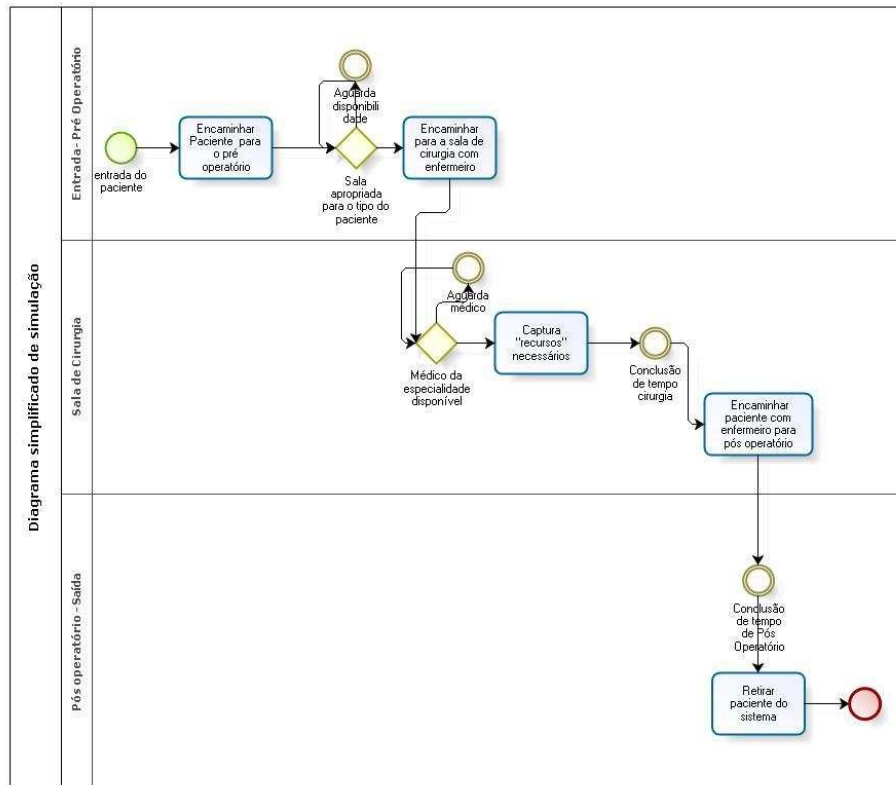


Figura 1 – Fluxograma simplificado Centro Cirúrgico

Nesta representação pode-se verificar:

- a chegada do paciente;
- a espera dos recursos necessários para a sua cirurgia;
- o tempo de realização da mesma; e
- a saída do sistema.

Após a entrada, o paciente é deslocado para o pré-operatório, com auxílio de um Técnico em Enfermagem, liberado após o deslocamento. Após a chegada a sala de pré-operatório o paciente utiliza uma correspondência para associação com médico da especialidade necessária, e aguarda durante o tempo para preparação da sala de cirurgia. Após é encaminhado para a sala designada para a cirurgia de sua especialidade.

Após a chegada na sala de cirurgia designada, são aprisionados os recursos necessários para a realização da cirurgia, compreendendo o Anestesiologista, dois Técnicos em Enfermagem e o Instrumentador.

O tempo de cirurgia é aguardado, sendo decorrente de sorteio dentre a distribuição correspondente. Ao término da cirurgia, a sala é limpa por Técnico em Enfermagem, com duração sorteada pela distribuição adequada.

Após a cirurgia, o paciente é movido para a sala de pós-operatório, e o médico regressa à sala de estar dos médicos. Os recursos são liberados, enquanto o paciente aguarda o

tempo sorteado da distribuição de pós-operatório e é encaminhado por um Técnico em Enfermagem para a saída do sistema.

2.2. DADOS INICIAIS

Torres (2007) apresenta um estudo estatístico das cirurgias eletivas programadas e efetivadas, bem como as de emergência realizadas em Hospital Universitário entre o período entre janeiro/2005 a agosto de 2006, sintetizado na figura 2, este comportamento também é obedecido pelo objeto em estudo.

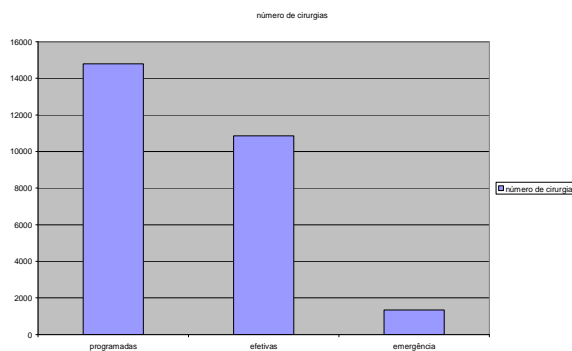


Figura 2 – cirurgias programadas, efetivas e de emergência
Fonte: adaptado de Torres 2007

É destacada a preponderância da realização de cirurgias programadas frente às de emergência, bem como a grande diferença entre as cirurgias programadas e efetivas.

Da preponderância relativa das cirurgias programadas, doravante chamadas eletivas, verifica-se a importância para o modelo da adequação das entradas dos pacientes ao sistema de programação de cirurgias utilizado no hospital. Neste trabalho serão abordadas somente as cirurgias eletivas. Primeiramente, será apresentado o processo de agendamento de cirurgia do pacientes relativamente ao dia de cirurgia, que referenciará a disciplina de chegada dos pacientes eletivos.

O método de agendamento de cirurgias eletivas do hospital estudado obedece a um sistema bloqueado, no qual salas são reservadas para determinadas especialidades de acordo com a seguinte escala:

Tabela 1- Distribuição de salas em acordo com a especialidade

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Cardíaca	Cardíaca	Cardíaca	Otorrino	Cardíaca
Geral	Geral	Oral	Geral	Geral
Geral	Geral	Pediátrica	Geral	Geral
Geral	Geral	Proctologia	Proctologia	Otorrino
Otorrino	Neurocirurgia	Neurocirurgia	Neurocirurgia	Neurocirurgia
Ginecologia	Ortopedia	Ginecologia	Ginecologia	Ortopedia
Plástica	Pediátrica	Plástica	Proctologia	Plástica
Torácica	Torácica	Urologia	Torácica	Urologia
Vascular	Vascular	Vascular	Vascular	Urologia
Oftalmo	Oftalmo	Oftalmo	Oftalmo	Oftalmo
Ortopedia	Ortopedia	Ortopedia	Ortopedia	Ortopedia

Como as cirurgias são renovadas diariamente, optou-se pela adaptação na modelagem separada para cada dia da semana. O sistema não possui memória, sendo reiniciado a cada dia.

2.2.1. Entidades e Recursos

Como as cirurgias eletivas têm a sua ocorrência somente nos dias apresentados na tabela 1, havendo 9 horas diárias de funcionamento. Os recursos foram quantificados por meio de consolidação de diferentes escalas e turnos, sendo apresentados na tabela 2

Recurso	Quantitativo
Instrumentador	12
Técnicos em Enfermagem	24
Anestesiologistas	30

Os médicos das especialidades, dado o fracionamento característico do trabalho já discutido em Carter e Blake [3], não foram considerados como recursos, mas sim como entidades. Foi considerada a disponibilidade de até três grupos constituídos de dois médicos especializados (ou docente) nos dias programados para cirurgia por especialidade. O quantitativo de médicos à disposição em cada especialidade está consolidado na tabela 3.

Especialidade	Qtd
Cardíaca	19
Geral	27
Ginecologia	14
Neurologia	16
Oftalmo	18
Oral	28
Ortopedia	27
Otorrino	12
Pediatria	8
Plástica	7
Proctologia	11
Torácica	9
Urologia	11
Vascular	10

Ressalta-se que o quantitativo foi calculado somente entre os docentes e médicos, sendo subtraídos os mestrandos, especializandos e residentes.

2.2.2. Distribuição de Chegada

As entradas para o modelo são diárias, todavia os dados obtidos foram estudados por períodos mensais. Apesar do caráter discreto, foi considerável aceitável a disciplina de chegadas modeladas diariamente por distribuição triangular, sendo efetuada a discretização pela plataforma de simulação.

Igualmente, as salas são divididas para operações entre as especialidades e

bloqueadas, de acordo com o dia da semana. Considera-se que a distribuição das cirurgias será equânime entre as salas designadas para cada especialidade, sendo observado o percentual de salas alocadas diariamente, sobre o total de salas alocadas durante a semana para efetuar esta divisão. Desta forma obtêm-se as entradas diárias de cada especialidade, sendo as mesmas consolidadas pela aplicação do fator proporcional à distribuição semanal sumarizada na tabela 4.

Tabela 4- Distribuição de chegada

Especialidade	Distribuição	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
Cirurgia Cardíaca	T(0,2.875,5.5)	25%	25%	25%	0%	25%
Cirurgia Geral	T(3.75,26.125,42.25)	30%	30%	0%	20%	20%
Cirurgia Oral	T(1.75,8.5,13.5)	0%	0%	100%	0%	0%
Cirurgia Pediátrica	T(0,2.25,5.5)	0%	50%	50%	0%	0%
Cirurgia Plástica	T(3.75,12.5,21.5)	34%	0%	33%	0%	33%
Cirurgia Torácica	T(1,5,12)	33%	33%	0%	34%	0%
Cirurgia Vascular	T(4.5,10.5,15.5)	25%	25%	25%	25%	0%
Ginecologia	T(2.75,7.75,11,75)	33%	0%	34%	33%	0%
Neurocirurgia	T(1.75,5.875,13)	0%	25%	25%	25%	25%
Oftalmologia	T(0, 17.75, 43)	20%	20%	20%	20%	20%
Ortopedia e Traumatologia	T(3,16.75,32.25)	14%	29%	14%	14%	29%
Otorrinolaringologia	T(3.25,11.75,18.25)	33%	0%	0%	33%	34%
Proctologia	T(0.75,4.375,8.75)	0%	0%	34%	66%	0%
Urologia	T(2.75,12.125,17.25)	0%	0%	34%	0%	66%

2.2.3. Tempos de Cirurgia

Torres (2007) apresenta tempos mínimos, médios e máximos observados para cada especialidade. Optou-se por utilizar distribuições triangulares em acordo com a tabela 5, baseada nos dados citados.

Tabela 5- Distribuições de Tempos de Cirurgia

Especialidade	Distribuição (min)
Geral	T(20, 110, 1150)
Oral	T(20, 60, 160)
Neurocirurgia	T(25, 100, 458)
Cardíaca	T(60, 230, 590)
Otorrinolaringologia	T(10, 112, 320)
Tórax	T(25, 85, 410)
Plástica	T(10, 90, 360)
Urologia	T(20, 87.5, 515)
Ortopedia	T(5, 92.5, 265)
Ginecologia	T(20, 35, 60)
Oftalmologia	T(15, 67.5, 155)
Pediatria	T(5, 120, 175)
Proctologia	T(60, 105, 150)

3. VALIDAÇÃO

De modo a validar o modelo, foram efetuadas comparações tanto entre o “input” como quanto ao “output” do modelo em relação aos dados reais. Nesta comparação são realizadas 52 replicações de cada modelo diário, obtendo-se os valores semanais, e extrapolados para comparação com os dados mensais de janeiro de 2008 a março de 2009. Na figura 3 é apresentada a comparação de “input”.

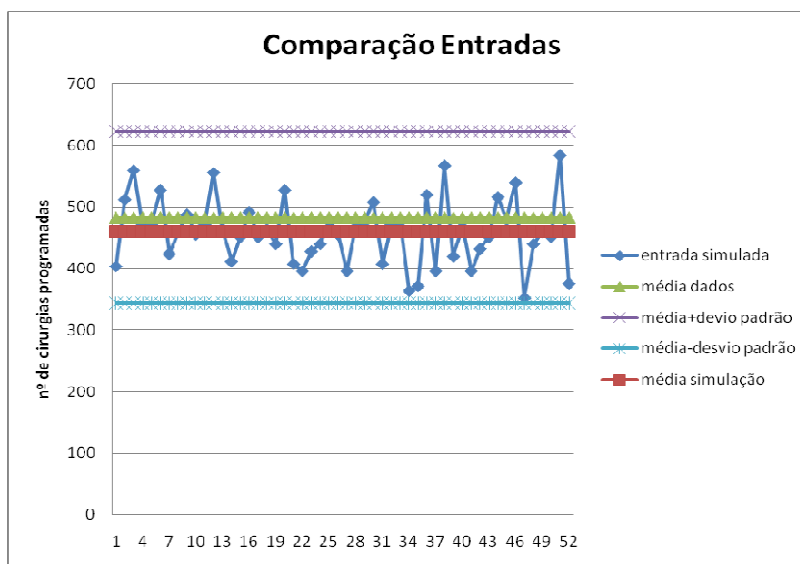


Figura 3 – Comparação de entradas

Não obstante, também é apresentada na figura 4 a comparação o “output” do modelo e os dados históricos.

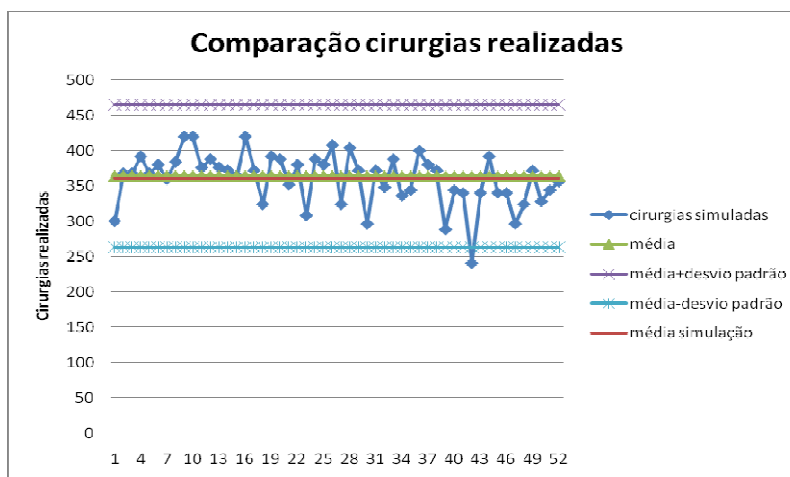


Figura 4 – Comparação de entradas

Apesar de haver um ponto abaixo da diferença de um desvio padrão na simulação

exploratória, verifica-se que a média das cirurgias realizadas, tanto nos dados quanto na simulação apresenta uma correspondência expressiva.

4. EXPERIMENTOS

Para a estima das replicações necessárias para realização dos experimentos foi admitida a margem de 2 pacientes por semana, sendo utilizado um intervalo de 95% de confiança. Visando a consecução conforme, obteve-se 82 replicações com mínimo, sendo realizadas 100 replicações para cada dia da semana.

Os experimentos foram construídos de modo a verificar o impacto sobre as cirurgias realizadas do aumento de programações de cirurgia, e de recursos com alta taxa de utilização.

4.1. AUMENTO DO NÚMERO DE ENTRADAS

Os experimentos iniciaram com a comparação entre os dados atuais e cenários que compreendessem a entrada adicional de um e de dois pacientes por especialidade nos dias correspondentes a realização de cirurgias. Esta escolha teve como finalidade impactar minimamente sobre as rotinas de trabalho estabelecidas aos médicos, mantendo a programação diária sem alteração.

São apresentados na figura 5 os dados de cirurgias programadas e realizadas nos cenários correspondentes a distribuição atual; com um paciente; e com dois pacientes adicionais para cada especialidade.

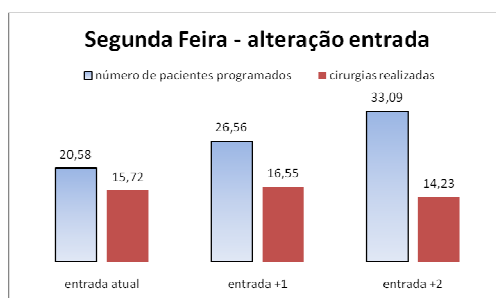


Figura 5 – Entradas x Cirurgias – alteração entrada (segunda-feira)

Nota-se o pequeno aumento de cirurgias efetuadas para a adição de uma cirurgia programada por especialidade. Entretanto o modelo tem um desempenho prejudicado na adição de duas cirurgias adicionais por especialidade. Tal ocorrência pode ser explicada pelo sobrecarregamento especificamente do recurso Técnico em Enfermagem, conforme apresentado na figura 6, por sua utilização no deslocamento dos pacientes.

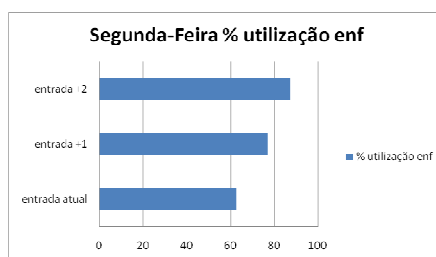


Figura 6 – Percentual de utilização Enfermeiros

Na tabela 6 apresenta-se o comportamento para todos os dias da semana.

Tabela 6- Resultados para alterações de entrada

Dia	Cir ent atual	Cir ent+1	Cir ent+2	Entrada	Entrada+1	Entrada+2	% utilização ent atual	% utilização ent +1	% utilização ent +2
Segunda-Feira	15,7	16,6	14,2	20,6	26,6	33,1	67,7	81,9	88,8
Terça Feira	16,6	15,3	13,5	22,2	30,7	36,2	75,9	88,5	90,7
Quarta-Feira	22,1	22,0	17,5	24,3	33,8	42,3	58,8	84,4	91,5
Quinta-Feira	18,7	18,0	14,4	21,9	31,2	38,0	67,3	86,4	90,8
Sexta-Feira	16,8	14,0	12,3	27,4	34,3	37,8	83,0	89,7	91,4

Verifica-se similar tendência de decréscimo após ultrapassagem do índice de 80% na utilização deste recurso. Deste modo foi analisada a sensibilidade marginal do modelo ao acréscimo deste recurso.

4.2. AUMENTO DO NÚMERO DE TÉCNICOS EM ENFERMAGEM

Como sendo o recurso com maior taxa de utilização nos cenários anteriores, desejou-se verificar o impacto marginal do aumento de 2, 4 ou 6 técnicos em enfermagem (aos disponíveis atualmente no desempenho do modelo.

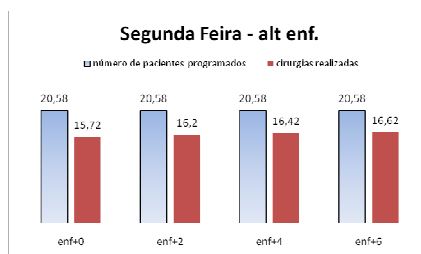


Figura 6 – Entradas x Cirurgias – alteração enfermeiros (segunda-feira)

É observado um pequeno acréscimo de realizações de cirurgia para o acréscimo de técnicos em enfermagem. O comportamento de acréscimo de cirurgias realizadas acontece, em maior ou menor grau, para cenários em cuja utilização está acima de 50%, conforme mostra a tabela 7

Tabela 7- Resultados para alterações de enfermeiros

	Qtd atual	+2 enf	+4 enf	+6 enf	Entrada	% utilização enf			
Segunda-Feira	15,72	16,2	16,42	16,62	20,6	67,7	62,5	57,7	53,8
Terça Feira	16,55	17,52	18,02	18,25	22,2	75,8	70,6	65,6	61,2
Quarta-Feira	22,12	22,55	22,82	22,77	24,3	58,7	53,1	48,9	45,5
Quinta-Feira	18,72	19,52	19,88	20,11	21,9	67,2	61,4	56,5	52,2
Sexta-Feira	16,76	18,88	20,43	21,9	27,4	83,0	79,4	75,5	71,2

4.3. AUMENTO CONJUGADO DE ENFERMEIROS E ENTRADAS

De modo a possibilitar uma análise completa sobre os efeitos de alteração conjugada do aumento de cirurgias programadas e do número de técnicos em enfermagem, foram construídos os modelos correspondentes. Na figura 7 pode ser visualizado o comparativo

entre os diversos cenários para segunda-feira.

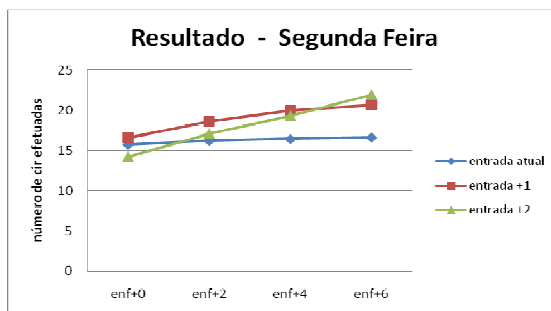


Figura 7 – Resultado (segunda-feira)

Para apresentação sinótica de todos os cenários temos na tabela 7 os respectivos resultados.

Tabela 7- Resultados para alterações de enfermeiros

		Cirurgias Realizadas			Cirurgias Programadas		
		entrada atual	entrada +1	entrada +2	entrada atual	entrada +1	entrada +2
Segunda	enf+0	15,72	16,55	14,23	20,58	26,56	33,09
	enf+2	16,2	18,6	17,09	20,58	26,62	33,3
	enf+4	16,42	19,98	19,29	20,58	26,63	33,37
	enf+6	16,62	20,66	21,9	20,58	26,63	33,37
Terça	enf+0	16,55	15,33	13,49	22,21	30,69	36,21
	enf+2	17,52	17,61	15,77	22,21	30,76	36,76
	enf+4	18,02	20,05	17,38	22,21	30,8	37,47
	enf+6	18,25	21,87	20,17	22,21	30,8	37,67
Quarta	enf+0	22,12	21,96	17,48	24,32	33,77	42,3
	enf+2	22,55	25,6	21,01	24,32	33,77	43,02
	enf+4	22,82	28,07	24,3	24,32	33,77	43,62
	enf+6	22,77	29,4	28,86	24,32	33,77	44,01
Quinta	enf+0	18,72	17,96	14,38	21,93	31,18	37,95
	enf+2	19,52	20,71	16,87	21,93	31,23	38,77
	enf+4	19,88	23,17	19,14	21,93	31,26	39,23
	enf+6	20,11	25,31	22,24	21,93	31,26	39,55
Sexta	enf+0	16,76	14	12,26	27,41	34,28	37,83
	enf+2	18,88	16,41	14,74	27,43	34,65	39,29
	enf+4	20,43	18,61	15,9	27,43	34,82	40,66
	enf+6	21,9	21,61	18,41	27,43	34,99	41,45

Apresentam-se em hachurado os máximos obtidos para cada cenário. Há uma diferente resposta da melhor configuração para cada dia da semana, pelas diferentes taxas iniciais de utilização dos recursos “Técnicos em Enfermagem”, e pelos diferentes tempos de conclusão das cirurgias alocadas.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou apresentar alternativas para o funcionamento do centro

cirúrgico estudado, onde podem ser atingidos aumentos substanciais da realização de procedimentos cirúrgicos, consolidados na tabela 8, utilizando-se apenas do aumento de cirurgias programadas e de técnicos em enfermagem.

Tabela 8- Resultados para alterações de enfermeiros

Dia	Cirurgias realizadas atual	Melhor Configuração	Ganho diário esperado	Ganho mensal esperado	Entradas Adicionais	Enfermeiros Adicionais
Segunda	15,72	21,9	6,18	39%	2	6
Terça	16,55	21,87	5,32	32%	1	6
Quarta	22,12	29,4	7,28	33%	1	6
Quinta	18,72	25,31	6,59	35%	1	6
Sexta	16,76	21,9	5,14	31%	0	6

Para sua consecução implicam em recursos humanos que podem não estar disponíveis atualmente. Entretanto indicam o impacto do futuro atendimento, embasando e quantificando esta necessidade.

Compreende-se que a melhoria do sistema pode ser encarada de maneiras distintas. Se de um lado é objetivado o aumento do número de cirurgias, o paciente pode em sua visão ter o objetivo na menor taxa de não-realização de cirurgias. Para este fim podem ser estudados futuramente: as alterações de locais; e de programação de cirurgias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] VanBerkel, P.T. e Blake, John T. "A comprehensive simulation for wait time reduction and capacity planning applied in general surgery". *Health Care Management Science* **10**(4) (2007) 373–385
- [2] Marjamaa, Riitta A., Torkki, Paulus M.; Hirvensalo, Eero J. "What is the best workflow for an operating room? A simulation study of five scenarios". *Health Care Management Science* **12** (2009):142-146.
- [3] Carter, Michael W., e Blake, John T. "Using simulation in an acute-care hospital: easier said than done." In "Operations research and health care a handbook of methods and applications". Margaret L. Brandeau, François Sainfort, and William P. Pierskalla. Boston, Mass: Kluwer Academic, 2004.
- [4] Torres, Nilson T. "Avaliação de Desempenho no Centro Cirúrgico do Hospital Universitário da UFRJ (HUCFF) utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) e Simulação", UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.