

ANÁLISE E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS APLICADA AO FLUXO DE PACIENTES NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA USP

Thiago Cassoni Rodrigues Gonçalves

thiago.cassoni@gmail.com

Resumo. *Este trabalho tem por objetivo o estudo de uma linha de processos, abordando os pontos críticos do sistema e indicando possíveis otimizações. O estudo se utiliza do software Rockwell Arena para simular computacionalmente a planta estudada e o seu comportamento de acordo com eventos discretos no espaço de estados. O trabalho é apresentado na forma de estudo de caso, mais precisamente aplicado ao Hospital Universitário da USP, seguindo a determinada ordem de estudo: coleta de dados, análise estatística e funcional, simulação computacional, teste de confiabilidade do sistema simulado, proposição de otimizações, nova simulação do sistema otimizado e por fim o estudo da aplicação do mesmo no caso real. Os resultados obtidos nesse estudo serão, ao fim, comparados com semelhantes dados obtidos de um hospital universitário da cidade de Turim, na Itália, onde o autor realizou semelhante análise*

Palavras chave: *processos, análise computacional, hospital universitário*

1. Introdução

A análise dos critérios e métodos utilizados nos processos produtivos das organizações é de suma importância pois toda e qualquer ferramenta que contribua para a diminuição de custos deve ser administrada, independentemente da área de atuação. Portanto, conhecer os procedimentos existentes no processo produtivo da empresa é essencial para manter-se em um mercado globalizado e cada vez mais competitivo.

O estudo de caso apresentado irá focar no fluxo de pacientes ao longo do processo cirúrgico do Hospital Universitário da USP bem como a alocação dos recursos. Portanto, sabe-se de antemão que existe um alto nível estocástico (alta variabilidade) uma vez que apenas aproximações baseadas em análises históricas podem ser realizadas a fim de estimar os parâmetros que determinam o fluxo (como a média de entrada de pacientes, o tempo de cirurgia estimado, a espera em salas de recuperação, o número médio de casos urgentes, etc).

A análise apresentada foi baseada em semelhante estudo de caso realizado pelo autor em conjunto com a faculdade italiana Politecnico di Torino. Em tal instituição foi realizado um levantamento de dados e simulação do centro oncológico do hospital universitário Molinette e diversos parâmetros e índices de desempenho do caso italiano serão comparados com o caso brasileiro.

Atualmente, a alocação dos recursos hospitalares não é realizada de forma automatizada (devido exatamente a essa alta variabilidade existente em processos hospitalares). E é necessário um alto custo de operação para manter uma satisfatória gerência de pessoal e de materiais, o que muitas vezes não é possível de se realizar em hospitais da rede pública devido à falta de verbas.

Dentre os problemas conhecidos da rede pública hospitalar (caso do Hospital Universitário da USP) temos os seguintes ressaltados por Visserb (1998): impossibilidade de se satisfazer a alta demanda devido a incapacidade física, baixa utilização dos recursos de forma satisfatória e incorreto balanceamento entre as entradas (*inputs*) do sistema e o serviço alocado, gerando gargalos no fluxo ou blocagens.

O estudo visa quantificar e analisar o sistema utilizado no HU-USP em seu departamento de cirurgias eletivas (pré-programadas). Esse hospital atende a região da Cidade Universitária da USP bem como o bairro do Butantã e é composto em sua maioria por profissionais ligados a faculdades de medicina e ciências médicas da universidade em questão.

2. Desenvolvimento

O primeiro passo no estudo de caso é a visita de campo, possibilitando a obtenção das informações da planta e dados de entrada para a futura simulação computacional. Contatos diretos com responsáveis do departamento estudado possibilitou uma direta abordagem às tais informações, bem como auxiliou no desenvolvimento do fluxograma que indica visualmente os processos aos quais as entidades são submetidas. Este item se dividirá em diversas etapas, indicando os dados básicos do hospital, o fluxograma de processos, análises de correlações, histogramas e cálculos de performance. Ressalta-se apenas que a obtenção dos dados de estudo foi uma extração direta do histórico hospitalar referente a 3 meses de operação.

2.1. Dados gerais do sistema

O Centro Cirúrgico do HU-USP (departamento a ser estudado) é responsável por atender e realizar cirurgias gerais pré agendadas e de urgência aos pacientes atendidos em tal entidade, sendo a maioria dos casos cirurgias eletivas onde houve uma pré análise dos pacientes a serem atendidos, e apenas eventualmente casos urgentes e inesperados ocorrem. Dessa forma é possível tratar o processo de estadia hospitalar semelhantemente a um processo industrial, devido à alta previsibilidade do tempo operação e de recuperação esperado para cada tipo de paciente.

É necessário, primeiramente, estipular as características que regem o departamento cirúrgico. Primeiramente sabe-se que as cirurgias eletivas são realizadas apenas entre segunda e sexta-feira, sendo que qualquer operação realizada durante o fim de semana representa um caso de urgência. Existem no departamento 39 leitos divididos entre seções masculinas e femininas e um total de 3 salas cirúrgicas reservadas apenas para o departamento em questão. Porém, existem 2 salas de operação denominadas “Táticas” cuja função é ser utilizada uma vez que todas as salas regulares estejam ocupadas e seja necessário uma operação de urgência. Entretanto, vale ressaltar que as salas “Táticas” são utilizadas por todos os departamentos do hospital, e não somente pelo Centro Cirúrgico.

Ressalta-se também que as entidades do sistema (no caso os pacientes a serem atendidos) são provenientes não só dos agendamentos cirúrgicos, mas também há a possibilidade de pacientes de outras áreas (como da clínica médica ou da UTI) entrarem no departamento estudado. Ambas as tabelas abaixo indicam a proveniência e o destino dos pacientes estudados, com relação à salas de operação reservadas ao Centro Cirúrgico.

Tabela 1. Proveniência dos pacientes atendidos no Centro Cirúrgico

	Departamento	Quantidade de pacientes	Porcentagem por departamento	Porcentagem da área
Agendamento Cirúrgico	Clínica Cirúrgica	486	43,16%	73,62%
	Alojamento conjunto	66	5,86%	
	Hospital dia	240	21,31%	
	Pediatria	37	3,29%	
Clínica Médica	Clínica médica	14	1,24%	23,18%
	PS adulto	196	17,41%	
	PS infantil	51	4,53%	
UTI	Semi intensiva	4	0,36%	3,20%
	UTI	32	2,84%	

Tabela 2. Destino dos pacientes após cirurgia realizada pelo Centro Cirúrgico

	Departamento	Quantidade de pacientes	Porcentagem por departamento	Porcentagem da área
Agendamento Cirúrgico	Alojamento conjunto	68	6,04%	87,57%
	Clínica Cirúrgica	580	51,51%	
	Hospital dia	253	22,47%	
	Pediatria	85	7,55%	
Clínica Médica	Clínica médica	9	0,80%	0,80%
UTI	Semi intensiva	51	4,53%	11,63%
	UTI	80	7,10%	

2.2. Fluxograma de processos

Do obtido anteriormente, entende-se que o estudo deve focar no Departamento Cirúrgico, porém é necessário analisar também os dados de entrada e saída de outros dois departamentos: Clínica Médica e UTI. Logo, o fluxograma de processos deve abordar todos os 3 departamentos, bem como as suas conexões e atividades. Uma representação simplificada do mesmo é apresentada na Fig (1).

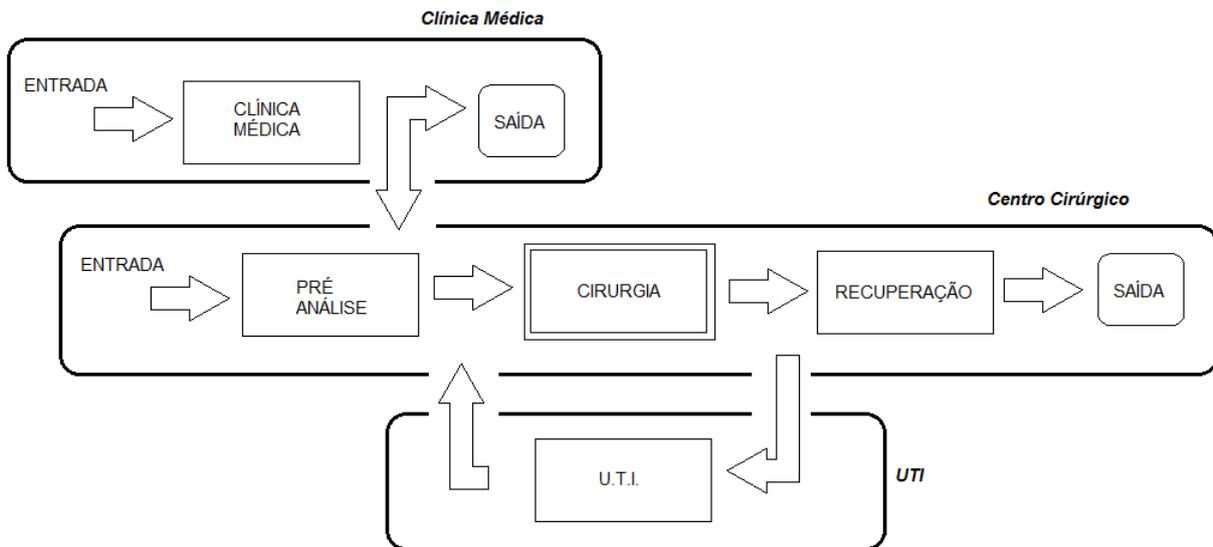


Figura 1. Fluxograma simplificado do departamento hospitalar estudado

2.3. Estudo analítico

Para futuramente comparar os valores extraídos do software com o caso real, devemos calcular uma estimativa da utilização. Para tal iremos utilizar o teorema de John Little e as fórmulas a seguir. Temos que a utilização de um recurso é dada por:

$$u = \frac{TH}{TH_{Max}} = \frac{WIP}{Capacidade} \quad [Porcentagem \ de \ leitos \ utilizados] \quad (1)$$

Na fórmula acima temos que TH é o *Throughput* (quantidade de dados processados em um determinado espaço de tempo), a capacidade máxima é o número de leitos (39) e WIP é o chamado *Work in Process*, dado por:

$$WIP = CT \times TH \quad [Dados \cdot Dias] \quad (2)$$

Onde CT é o tempo de um ciclo e TH é o mesmo *Throughput* já determinado anteriormente. Realizando os devidos cálculos obtém-se as seguintes informações:

Tabela 3. Valores obtidos pelo teorema de Little.

TH - <i>Throughput</i>	12,22
CT - Tempo de ciclo	3 dias
WIP - <i>Work in Process</i>	36,66
Utilização (u)	91,65%

Logo, essa estimativa indica que o departamento utiliza aproximadamente 92% de seus leitos. Obviamente esse valor varia com o tempo, uma vez que dependendo da entrada do sistema pode-se obter valores de utilização instantânea menor ou maior que o indicado. Esse valor indica apenas o valor médio se considerarmos o período de estudo realizado (3 meses).

Outros dados de extrema importância são os dados de cirurgias e os tempos de espera e internação a quais os pacientes são em média submetidos. Temos os seguintes dados obtidos de tabelas históricas de todos os pacientes atendidos pelo centro cirúrgico durante o período analisado.

Tabela 4. Valores obtidos pela análise histórica.

	Quantidade de cirurgias realizadas por dia	Tempo de espera entre Entrada e cirurgia (em dias)	Tempo de repouso - espera entre cirurgia e alta (em dias)	Tempo total de internação (em dias)
Média	12,64	1,94	2,40	4,34
Desvio Padrão	6,87	1,34	1,67	2,12
Coefficiente de Variação	0,54	0,69	0,70	0,48

2.4. Histogramas

Como base de entrada para os processos gerados no software é necessário uma distribuição probabilística que represente fielmente a planta estudada. Para tal, os dados de entrada serão estudados na forma de histogramas sendo possível então analisar aproximações médias utilizando diferentes distribuições probabilísticas conhecidas, de forma assim a obter a que melhor represente o caso real. A seguir serão apresentados os histogramas e estudos dos processos principais que regem o sistema estudado, sendo eles: alocação de pacientes, intervento cirúrgico e recuperação pós-cirúrgica.

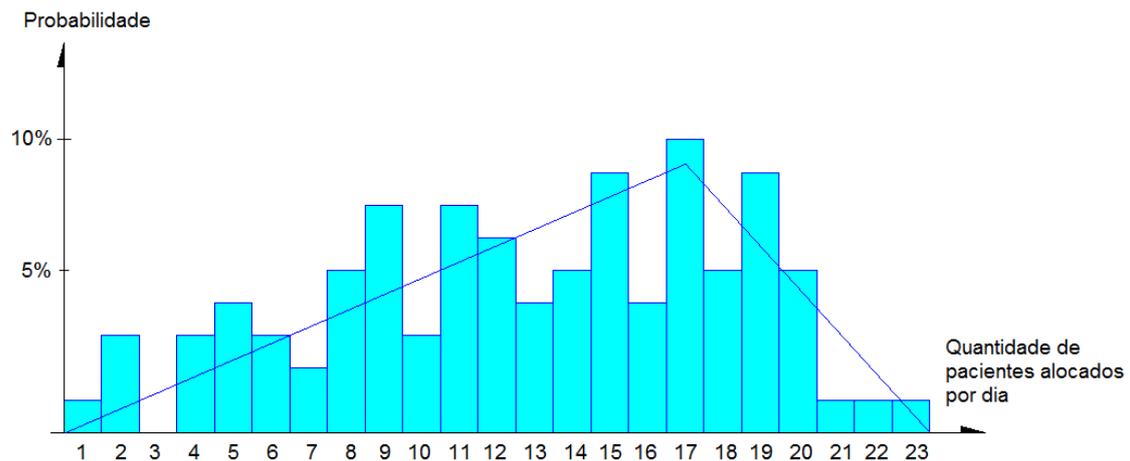


Figura 2. Histograma da alocação de pacientes

Tabela 5. Valores obtidos para a alocação de pacientes

Distribuição	Triangular
Expressão	TRIA(-0,5; 16; 22,5)
Erro quadrático	0,007497
Intervalos	7
Graus de liberdade	5
Valor P	0,0473

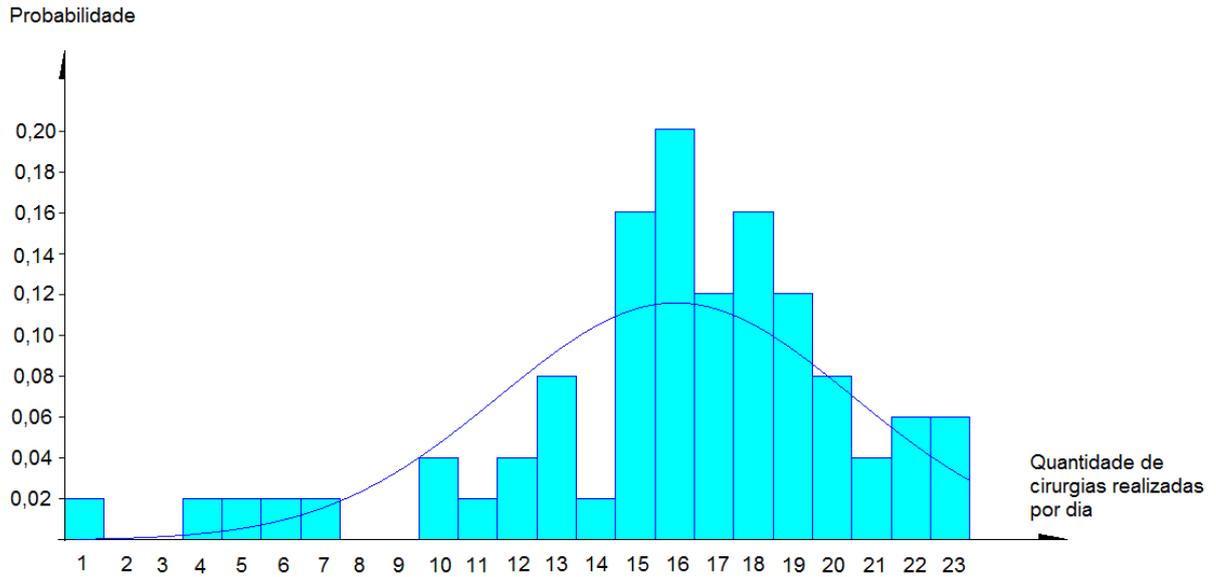


Figura 3. Histograma do processo cirúrgico

Tabela 6. Valores obtidos para o processo cirúrgico

Distribuição	Normal
Expressão	NORM(16; 4,49)
Erro quadrático	0,016449
Intervalos	7
Graus de liberdade	4
Valor P	0,0466

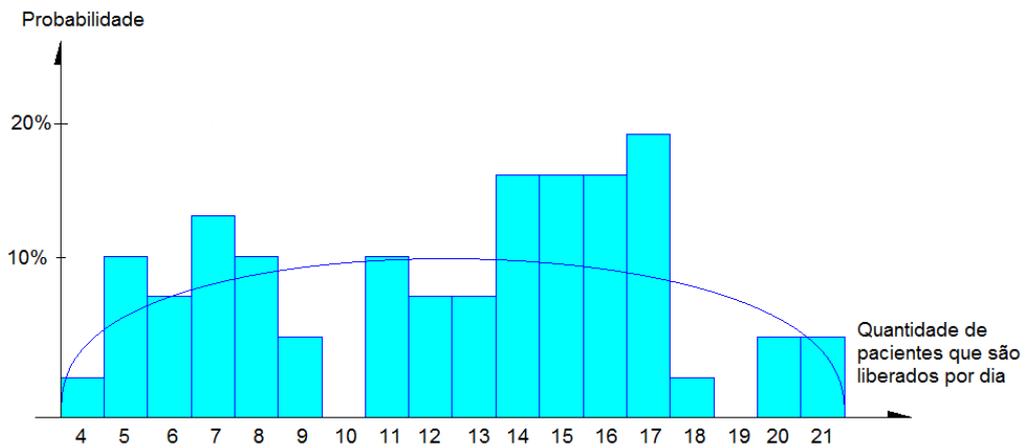


Figura 4. Histograma da recuperação pós cirúrgica

Tabela 7. Valores obtidos para o pós cirúrgico

Distribuição	Beta
Expressão	$4.5 + 18 * \text{BETA}(1,38; 1,39)$
Erro quadrático	0,018954
Intervalos	8
Graus de liberdade	5
Valor P	0,0981

Após a obtenção de todos os dados e parâmetros necessários vem o estudo computacional que visa simular a planta do sistema. O intuito de se utilizar recursos informáticos para representar ambientes físicos vem da possibilidade de se realizar modificações sem necessidade de alterar o objeto real de estudo. Dessa forma pode-se testar melhoras na eficiência do sistema caso modifique-se determinados parâmetros.

O software utilizado nesse estudo foi o Rockwell Arena 11. Tal ferramenta computacional é largamente utilizada para simular processos que possam ser representados como eventos discretos no espaço de estados. Na Escola Politécnica da USP ele é largamente estudado e aplicado no departamento de Engenharia Naval e buscou-se com esse trabalho iniciar o uso de tal ferramenta também no departamento de Engenharia Mecânica.

Para gerar a simulação todos os dados obtidos nos passos anteriores foram utilizados, desde o fluxograma até as distribuições probabilísticas obtidas. Importante ressaltar que diversas iterações foram realizadas de forma a garantir a estabilidade e eficiência da simulação bem como ressalta-se que se considerou um necessário tempo de estabilização da simulação (conhecido como *warm-up period*) que garante uma estabilização completa do sistema prioritária à coleta de dados.

4. Resultados e Análises

Nessa etapa serão apresentados os resultados obtidos da simulação e análise do Hospital Universitário da USP bem como comparações com os valores obtidos pela análise analítica dos dados de entrada serão realizadas.

Primeiramente deve-se comparar os índices de performance obtidos pelo software e verificar se representaram com confiabilidade os mesmos valores apresentados pela planta física. A seguir temos tabelas comparativas entre os mesmos (relembrando que temos o mesmo intervalo de tempo de 3 meses para ambas as análises).

Tabela 8. Resultados comparativos entre a planta real e a simulação

Parâmetro	Reais	Simulação	Erro (%)
Tempo de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,72%
Utilização de leitos	91,65%	90,32%	1,47%
Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	5,43%
Pacientes Emergenciais	27%	32%	
Pacientes Eletivos	73%	68%	

Percebe-se uma boa aproximação da simulação pelo caso real, uma vez que os índices obtidos são próximos e condizentes com o encontrado através de análises analíticas da planta real. Com a simulação verificada, é interessante então analisar e propor modificações ao sistema que serão divididas nos seguintes grupos:

- Modificações de Processos

(consiste em modificar o fluxo de atividades de forma a obter o mesmo produto final porém reduzir o tempo total de ciclo resultando em melhor desempenho)

1. Separar pacientes de estadia longa e estadia curta

Foi proposto dividir os pacientes durante a fase de admissão distinguindo as cirurgias com maior probabilidade de incidirem em um longo tempo de espera e repouso (denominada estadia longa). Haveria uma distinção de salas com número restrito de pacientes de estadia curta e de estadia longa de forma a proporcionar maior rotatividade aqueles com menor tempo de espera, permitindo assim o atendimento a um número maior de pacientes durante o mesmo intervalo de tempo. Procura-se também com esse método evitar um bloqueio do sistema caso hajam apenas pacientes de estadia longa ocupando os leitos. Esse método de distinção entre classes de variação dos pacientes foi sugerido por Parnell (2005) e já estudado pelo autor desse artigo em seu estudo de caso italiano.

2. Realizar pré análise obrigatoriamente fora do centro cirúrgico

Consiste em realocar todas as pré análises (exames de sangue, urina, raio-x, etc) do Centro Cirúrgico para a Clínica Médica, possibilitando que pacientes que estejam realizando tais procedimentos não ocupem leitos e não utilizem recursos do centro de cirurgias. Procura-se assim aumentar a eficiência do processo cirúrgico utilizando-se ao máximo da sua capacidade.

- Modificação de Recursos

(Aumenta-se o número total de recursos hospitalares possibilitando assim estudar seu direto impacto no desempenho do sistema)

1. *Aumentar a quantidade dos leitos*

Proposto um aumento em 25% na quantidade total de leitos do centro cirúrgico (em igual proporção para leitos femininos e masculinos).

2. *Aumentar a quantidade de salas cirúrgicas*

Aumento em 1 sala cirúrgica dedicada exclusivamente ao departamento e 1 sala cirúrgica tática (serve de suporte a todas as áreas hospitalares não sendo exclusiva do centro cirúrgico).

Após realizadas e testadas todas as modificações na simulação computacional pode-se obter a tabela a seguir que compara não apenas os valores obtidos pelo caso brasileiro mas também os semelhantes estudados no hospital italiano.

Tabela 9. Resultados comparativos entre o estudo brasileiro e o estudo italiano

		Controle	Modificações					
			Aumento em recursos			Aumento em processos		
		Amostra	Simulação inicial	Maior número de leitos	Maior quantidade de salas cirúrgicas	Pré análises fora do centro cirúrgico	Divisão de pacientes	
						Estadia Longa	Estadia Curta	
Estudo Brasileiro (HU-USP)	Tempo total de internação	3,62 dias	3,49 dias	3,20 dias ↓8%	2,95 dias ↓15%	3,02 dias ↓13%	9,80 dias ↑181%	2,40 dias ↓31%
	Utilização de leitos	91,65%	90,32%	81,95% ↓8%	84,84% ↓5%	88,14% ↓2%	99,10% ↑9%	62,33% ↓28%
	Quantidade de pacientes atendidos	1126	1068	1101	1097	1084	1087	
Estudo Italiano (Molinette)	Tempo de internação	9,1 dias	8,9 dias	8,6 dias ↓3%	6,7 dias ↓25%	8,4 dias ↓6%	15,7 dias ↑76%	6,8 dias ↓24%
	Utilização de leitos	79%	80%	69% ↓11%	53% ↓27%	72% ↓8%	81% ↑1%	74% ↓6%

Na tabela anterior é possível não apenas comparar os parâmetros mas também está indicado o quanto eles melhoram ou pioram com relação ao controle (no caso considerando-se uma comparação direta com a simulação inicial).

Percebe-se claramente que para ambos os casos uma maior quantidade de salas cirúrgicas seria a modificação que implicaria em melhor desempenho. Tal afirmação é consistente pois em ambos os casos o processo cirúrgico é o gargalo do sistema sendo limitado pelo seu número total de recursos (número fixo de salas).

Interessante porém é notar ligeira diferenças no caso da divisão de pacientes em estadia Longa e Curta. Percebeu-se um melhor desempenho desse modelo no caso italiano do que no hospital brasileiro. Acredita-se que tal discrepância deriva da existência de uma melhor distribuição dos pacientes no hospital da Itália onde, por se tratar de um departamento específico de oncologia e não uma clínica geral é possível realizar uma melhor distribuição dos pacientes de acordo com dados históricos cirúrgicos.

Já observando-se as outras modificações propostas (exclusão da pré-análise do departamento e aumento do número de leitos) obteve-se valores semelhantes para ambos os casos.

5. Conclusões

O esperado com esse trabalho era realizar uma análise geralista dos processos existentes no departamento Centro Cirúrgico do Hospital Universitário da USP, realizando estudos analíticos e de funcionalidade, bem como determinando os parâmetros e índices de desempenho do mesmo.

Os dados obtidos através de visitas de campo e de tabelas históricas hospitalares permitiram uma ampla abordagem do sistema e inúmeras considerações foram realizadas de modo à melhor estudar a planta física. Com os devidos dados em mãos foi possível construir um fluxo dos processos e analisar suas relações com os recursos utilizados, de modo a constituir a base de entrada da simulação computacional.

Utilizando o software de simulação de processos foi possível reproduzir computacionalmente o comportamento do sistema, determinando seus índices de desempenho de forma gráfica, possibilitando direta comparação com os valores obtidos através da extração direta dos dados de entrada.

A comparação entre o caso simulado e o real provou baixas divergências entre ambos, o que garante confiabilidade à representação computacional. Portanto, como essa se porta como uma fiel representação da planta física, é possível

analisar modificações na mesma e testá-las computacionalmente, visando no futuro aplicar as otimizações obtidas no sistema real.

Por fim, implementações e melhorias ao atual sistema foram propostas e testadas. Além disso, comparações diretas do estudo de caso do HU-USP com o semelhante caso estudado na Itália foram realizadas, onde os respectivos índices de desempenho foram comparados bem como as distinções e semelhanças que cada caso apresentou foram analisadas.

Ressalta-se finalmente que este trabalho serve como base para estudos futuros que podem ser realizados no que tange o tema fluxo de pacientes e utilização de recursos em hospitais da rede pública. Entre eles é possível citar:

- Estudo de implementação de cargo de gerente de fluxo de pacientes, responsável por garantir a transferência entre processos e utilização de leitos de forma eficiente e estável;
- Impor permissões a enfermeiros e residentes que os possibilitem realizar a alta médica a pacientes, reduzindo o tempo total de internação;
- Integrar eficientemente os processos de registro e triagem hospitalar;
- Criar salas e leitos específicos para pacientes que aguardam transporte, medicação final ou até mesmo educação médica mas que não tem a necessidade de se ocupar de um leito destinado a pacientes cirúrgicos;
- Implementar incentivos financeiros e não financeiros para médicos e enfermeiros que sejam eficientes e que reduzam o tempo total de internação de seus pacientes;
- Estabelecer sistemas de monitoramento e controle remoto para determinar a capacidade instantânea hospitalar bem como indicar o limite máximo de operação garantindo assim que sempre hajam leitos reservados para urgências;
- Estudo do monitoramento dos estoques de recursos e estudar a implantação de processos lean (manufatura enxuta) de forma a reduzir excessos e otimizar o sistema.

6. Referências

- Adele M., Christos V., "Length of stay-based patient flow models: recent developments and future directions", Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, Queens. University of Belfast, Belfast, UK, 2005
- Ayfur A., Benjamin M. "Simulation Modeling and Analysis with Arena", Academic Press, Department of Industrial Engineering and Department of Management Science and Information Systems, Rutgers University, 2005
- Murray J.C., "Patient Flow and resource utilization in an outpatient clinic" Department of Health Care Administration, Trinity University, 1999
- Visserb J.M.H., "Patient flow-based allocation of inpatient resources: A case study" Faculty of Technology Management. Eindhoven University of Technology, Netherlands, 1998
- Ferreira L., Andrade R. "Workflow: Uma solução efetiva para o Gerenciamento Hospitalar", The Cyclops Project. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, SC, Brasil. 2000
- Kelton W., Sadowski R.P. "Simulation with Arena" Fourth edition. Mcgraw hill. 2007
- Marshall A. "Patient flow models" Department of applied mathematics and theoretical physics, Queens. Harrow School of Computer Science, University of Westminster. 2005
- Oliveira D.P R. "Sistemas, organização & métodos" São paulo, SP. Editora Atlas. 2002
- Parnell, J.M. "Improving patient flow in america's safety net hospitals: an ethical obligation to the nation's underserved populations" Clinical director of pediatric outreach and clinical affairs. National association of public hospitals and health care systems. 2005

7. Direitos autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Patient Flow and Processes Analysis applied on the University Hospital, USP

Thiago Cassoni Rodrigues Gonçalves

thiago.cassoni@gmail.com

Abstract. This essay contains a study on processes lines, analyzing bottlenecks and critical stages and proposing optimization in order to achieve a leaner system. In order to quantify and obtain the necessary performance indexes of the analyzed system, the author will adopt the software Rockwell Arena. This computational tool deals with simulations of discrete event scenarios and is largely used on the logistics field. This dissertation will follow a chronological order regarding the work performed, which can be summarized as: gathering of initial data from the area of study, statistical and functional analysis, computational simulation from the real case scenario, analysis of improvements, simulation of improved case and final conclusions. The study is presented as a case study, more precisely an analysis applied to the patient flow inside a hospital department. Two different hospitals (however both connected with their respective University Campus) will be presented, one situated on the city of Turin (Italy) and the other on the city of São Paulo (Brazil). The final results of both hospitals will be compared and analyzed in terms of performance and resources utilization, although a broader study will be performed on the latter since it was the most recent case analyzed.

Keywords. Processes Analysis. Computational Simulation. University Hospital.