PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA: UMA ABORDAGEM COM USO DE SIMULAÇÃO

Janaina Figueira Marchesi
Departamento de Engenharia Industrial (DEI) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rua Marquês de São Vicente, 225, 22451-900, Gávea - Rio de Janeiro-RJ
janainamarchesi@gmail.com

Silvio Hamacher
Departamento de Engenharia Industrial (DEI) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rua Marquês de São Vicente, 225, 22451-900, Gávea - Rio de Janeiro-RJ
hamacher@puc-rio.br

Fernando Luiz Cyrino Oliveira
Departamento de Engenharia Industrial (DEI) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Rua Marquês de São Vicente, 225, 22451-900, Gávea - Rio de Janeiro-RJ
cyrino@puc-rio.br

RESUMO

Uma unidade de interesse particular em hospitais é o Centro Cirúrgico (CC), pois frequentemente é a unidade de maiores custo e receita. Todavia, na maioria dos hospitais brasileiros as decisões em relação à gestão dessa unidade são tomadas a partir de conhecimento tácito. Diante disso, este estudo visa aplicar Modelagem de Processos, Simulação de Monte Carlo e de Eventos Discretos com vistas ao aprimoramento da programação das cirurgias considerando a coordenação do CC com a Unidade de Terapia Intensiva (UTI). Foi realizada uma aplicação em um hospital público brasileiro e foram sugeridas mudanças no processo de marcação de cirurgias e adoção de um limite para marcação com indicação de UTI. Alcançou-se a redução de 39% no índice de suspensão de cirurgias, diminuição de 61% no tempo de espera total e aumento no número de pacientes atendidos.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Programação de Salas de Cirurgia, Unidade de Terapia Intensiva.

Tópicos: SA (PO na Área de Saúde), SIM (Simulação).

ABSTRACT

A unit that is of particular interest in hospitals is the Operating Theater (OT) as is often the largest cost unit and also the higher hospital revenue source. However, in most Brazilian hospitals, decisions regarding the management of OT management are taken from tacit knowledge and empirical observation. Thus, this study aims to apply Process Modeling, Monte Carlo Simulation and Discrete-Events Simulation to improve programming of surgeries considering the coordination of the OT with the Intensive Care Unit (ICU). A case study was conducted at a Brazilian public hospital. Reduction of 39% was achieved in the surgery suspension index, decrease 61% of the total waiting time for surgery and increase in the number of patients attended.

KEYWORDS. Simulation, Operating Theater Programming, Intensive Care Unit.

Paper topics: SA (PO in Healthcare), SIM (Simulation).

1. Introdução

As despesas com saúde vêm aumentando constantemente desde o início dos anos 1990, devido ao aumento da expectativa de vida da população (OECD, 2010). Dessa forma, tanto os criadores de políticas de saúde quanto os gestores de sistemas têm interesse crescente em encontrar formas de direcionar os sistemas de saúde para melhoria de desempenho, uma vez que essa melhoria tem o potencial de reduzir as tensões entre demandas crescentes e recursos limitados (European Comission, 2009).

Nesse contexto, uma unidade de interesse particular quando se trata de planejamento e controle na área da saúde é o Centro Cirúrgico (CC). Isso se deve ao fato desta unidade ser a de maior custo e de maior receita do hospital, gerando um grande impacto sobre o desempenho do mesmo (Cardoen et al., 2010). Assim, o desenvolvimento de procedimentos que atuam para conter os custos, melhorar o fluxo de pacientes e fornecer tratamento oportuno e utilização máxima dos recursos disponíveis, desempenha um papel crucial (Guerriero e Guido 2011).

O fluxo de um paciente que vai se submeter a uma cirurgia envolve várias etapas que podem variar de acordo com o hospital e as características do paciente. Cada etapa requer recursos específicos para seu cumprimento. Esses recursos compreendem pessoal (cirurgiões, anestesistas, enfermeiros, dentre outros), equipamentos especializados e instalações (capacidade pré-cirúrgica, salas de cirurgia, unidades de recuperação pós-anestésica, etc) (Guerriero e Guido 2011). Além dos recursos diretamente relacionados ao CC, Blake e Carter (1997) citam a necessidade de adicionar a programação de recursos externos (por exemplo, Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e leitos de enfermaria).

Considerando o grande número de exigências que devem ser conciliados na elaboração de uma programação cirúrgica a maioria dos trabalhos que envolvem planejamento e programação de salas de cirurgia utiliza a classificação em três níveis para situar o problema abordado como pode ser visto nos trabalhos de Oostrum (2009), Proença (2011), Guerriero e Guido (2011), entre outros.

No primeiro nível, chamado case *mix planning*, são tomadas decisões como número e tipos de cirurgias a serem realizadas e os custos relevantes a fim de maximizar o lucro ou minimizar os custos (Guerriero e Guido 2011).

O segundo nível envolve o desenvolvimento do *master surgery schedule*, um calendário cíclico, que define o número e tipo de salas de cirurgia disponíveis nas instalações, as horas que as salas estarão disponíveis, e os grupos cirúrgicos ou cirurgiões que terão prioridade sobre o tempo das salas de cirurgia (Blake e Carter 1997).

O terceiro nível encontra-se em um ponto de vista operacional e é referido como *elective case scheduling*. O nível operacional trata do agendamento de pacientes eletivos e envolve o planejamento detalhado de cada cirurgia, envolvendo atribuição dos casos às salas de cirurgias, ordem de execução, reserva de equipamentos (Guerriero e Guido 2011). Nesse nível é realizado o planejamento da admissão de pacientes, programação de recursos, sequenciamento de atividade, monitoramento e controle das atividades, entre outros (Oostrum 2009).

Tendo em mente que o planejamento de cirurgias é influenciado por diversos fatores e envolve a coordenação de recursos e atividades em ambientes incertos, esse trabalho aborda um problema inserido no nível operacional e aborda o caso da coordenação do CC com recursos externos, mais especificamente a UTI, aplicado a um hospital público brasileiro.

O tema do planejamento operacional de salas de cirurgia geralmente é abordado na literatura utilizando modelo de Simulação por Eventos Discretos. Exemplos de aplicações são vistos Sciomachen et al. (2005), que tiveram como objetivo comparar a forma de alocação de cirurgias atual com um modo alternativo alcançado usando o *block scheduling* e posteriormente testaram diferentes formas de sequenciamento. Marcon e Dexter (2007) que utilizaram simulação para testar várias políticas de sequenciamento de cirurgias. Steins et al. (2010) desenvolveram um estudo abrangendo desde o atendimento pré-operatório até as unidades de cuidados pós-operatórios para verificar gargalos e obter uma utilização mais uniforme do departamento cirúrgico. Azari-Rad et al. (2014) analisaram diferentes regras de agendamento e sequenciamento

e foi considerado o tempo de permanência na UTI. Para uma revisão sistemática da literatura, consultar Cardoen et al. (2010) e Guerriero e Guido (2011).

Nos hospitais brasileiros, a maioria das decisões em relação à gestão de leitos e gestão de salas de cirurgia é tomada a partir de conhecimento tácito e observação empírica limitada, levando a longas filas de espera e baixos níveis de serviços. Foi identificada a oportunidade de aplicar técnicas como a modelagem de processos e simulação para descobrir possíveis falhas e oportunidades de melhorias no fluxo de marcação e programação das cirurgias. O objetivo é entender as atividades durante o processo de marcação e programação das cirurgias no hospital estudado, onde o principal problema enfrentado é o alto índice de cancelamento de cirurgias, assim, deseja-se identificar as oportunidades de melhorias e fornecer parâmetros para melhorar o processo estudado.

Para isso, visa-se, primeiramente, estudar o processo de marcação e propor alterações no mesmo, visando uma melhor política de programação de cirurgias para o hospital, a fim de reduzir o índice de suspensões das cirurgias. Posteriormente, objetiva-se propor o melhor uso de vagas da UTI para que as marcações realizadas tenham maior alinhamento com a capacidade de atendimento dessa unidade, utilizando como ferramenta a Simulação de Monte Carlo. E, finalmente, avaliar a proposta de mudança no processo de marcação de cirurgias com indicação de UTI verificando o impacto das mudanças sugeridas no tempo de espera para cirurgia e no índice de suspensões das cirurgias, por meio da utilização de Simulação de Eventos Discretos.

Conforme observado na revisão da literatura e corroborado pelo trabalho de revisão de Cardoen et al. (2010), a maioria dos artigos analisados não tem caráter aplicado, pois não usa dados de um hospital ou de uma organização de saúde real.

Isto posto, a contribuição do artigo se dá de duas formas: do ponto de vista conceitual, apresenta uma abordagem mais abrangente que as propostas na literatura, na medida em que analisa todo o processo de marcação e programação de cirurgias, incluindo também a coordenação do CC com a UTI. Do ponto de vista da aplicação, busca soluções voltadas para a resolução de um problema real relevante, que irão aprimorar efetivamente a qualidade do serviço, através da redução do tempo de espera dos pacientes, e a quantidade de pacientes atendidos no hospital.

O presente artigo está organizado em 6 seções, incluindo esta introdutória. A seção 2 apresenta os materiais e métodos utilizados. Na seção 3 são apresentados brevemente os resultados da modelagem e análise dos processos. Na seção 4 é apresentada a abordagem de Simulação de Monte Carlo e na seção 5 a Simulação de Eventos Discretos. E na Seção 6 são apresentadas as conclusões do estudo.

2. Materiais e Métodos

As etapas da pesquisa foram definidas a partir do *framework* apresentado por Bengtsson et al. (2009) para projetos de simulação e do *Soft Systems Methodology*, que pode ser vista em Checkland (2000), ou seja, o encadeamento das etapas da pesquisa, apresentado na Figura 1, foi determinado tendo como base os modelos citados adaptando-os ao caso estudado e aos objetivos propostos da pesquisa.

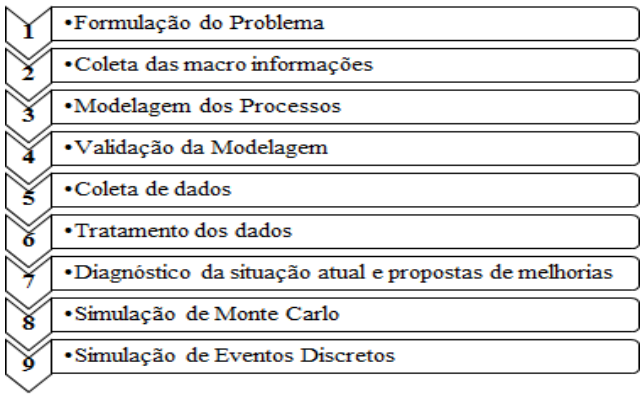

Figura 1 - Etapas do estudo

A unidade estudada é um hospital público brasileiro, localizado no estado do Espírito Santo, criado para realização de cirurgias de média e alta complexidade nas áreas de Neurologia, Cirurgia Vascular e Ortopedia. Possui capacidade para, em média, 350 internações por mês. É considerado um hospital 'porta fechada', ou seja, só recebe pacientes quando encaminhados por outros serviços previamente autorizados (outros hospitais estaduais) via Central de Regulação de Vagas da Secretária de Estado da Saúde (SESA).

O hospital conta com enfermarias para cada especialidade com um total de 130 leitos, além de uma UTI com 18 leitos. No CC são realizadas em média 12 cirurgias por dia entre as três especialidades atendidas. O CC possui 5 salas de cirurgia com características diferentes e são distribuídas entre as especialidades de acordo com essas características.

Para a formulação do problema foram realizadas duas visitas ao hospital com o objetivo de explorar as principais situações ocorridas, às quais se tinha interesse em mudança.

Após a formulação do problema foi realizada a coleta das macro informações. Essas foram obtidas em entrevistas com a Coordenadora de Enfermagem do Centro Cirúrgico, com a Gerente de Enfermagem e ainda com a Coordenadora de UTI para entender a relação de dependência do CC com as vagas de UTI.

Depois disso, o processo foi acompanhado no hospital durante uma semana para melhor compreensão do que foi descrito nas entrevistas e melhor entendimento do processo. A observação direta do processo é importante para contrastar com as informações obtidas durante as entrevistas e validar as informações coletadas durante as mesmas.

A etapa de Modelagem de Processos teve como finalidade a modelagem do processo de programação das cirurgias para melhor entendimento do fluxo de decisão. A etapa de modelagem é importante para fornecer a compreensão do processo e fundamental na etapa de análise de melhorias e na adequação de soluções para o mesmo. O processo foi modelado na notação BPMN 2.0 (*Business Process Model and Notation*) (OMG, 2011).

Os fluxogramas dos processos modelados foram validados com a Coordenadora de Enfermagem para confirmar se os envolvidos no processo e os responsáveis por cada etapa haviam sido identificados corretamente, o que foi chamado de Validação da Modelagem.

Na etapa de coleta de dados foram coletados dados das internações, cirurgias e transferência internas de paciente do hospital de um ano. Também foram coletados os dados dos mapas cirúrgicos com as marcações e as informações de cada paciente marcado de abril a dezembro e os dados referentes às causas de suspensão das cirurgias de julho a dezembro. Os dados foram obtidos do banco de dados do hospital e os períodos foram os disponibilizados por eles.

Na etapa de tratamento dos dados, os mesmos foram ordenados e classificados de forma a fornecer respostas ao processo investigado e buscar evidências para as observações feitas na fase de Modelagem do Processo. A etapa de diagnóstico da situação atual compreende análise dos dados a partir do tratamento dos mesmos e as propostas de melhorias compreendem a descrição das oportunidades de melhoria do processo observadas por meio da modelagem em notação BPMN. As recomendações de mudança nos processos são feitas para incidir, principalmente, sobre as causas secundárias de suspensão de cirurgias identificadas na análise dos dados.

Já para a causa principal de suspensão de cirurgia foi realizada uma Simulação de Monte Carlo para estabelecer o número ideal de marcações com indicação de UTI por dia que diminuísse o número de cancelamentos e posteriormente uma Simulação de Eventos Discretos para testar a nova política no Planejamento e Programação das Cirurgias no hospital e avaliar se a mesma realmente é capaz de trazer os benefícios esperados em relação à redução do tempo de espera e cancelamentos.

Para executar os experimentos referentes à Simulação de Monte Carlo e na definição das distribuições de probabilidade usadas nessa etapa usou-se o *software* @RISK 6 for Excel Launcher (Palisade, 2016). Já para o desenvolvimento da Simulação de Eventos Discretos foi usado o software ARENA.

Vale ressaltar que só foram considerados os casos eletivos regulares, pois os casos oriundos de encaixe, emergência e ambulatório são raros e influenciam pouco no planejamento do hospital.

3. Diagnóstico da Situação Atual e Propostas de Melhoria

Um dos principais problemas relatados pela alta administração do hospital é o alto índice de suspensão de cirurgias e o tempo de internação dos pacientes. Com base na análise dos dados, constatou-se que o tempo de espera médio por cirurgias é de 7 dias, considerando o tempo desde a internação até a realização da cirurgia. Na Tabela 1 é possível verificar os motivos de suspensão de cirurgias.

Tabela 1 - Motivo de suspensão e proporção em relação ao total de cirurgias e suspensão

Motivo	Quantidade suspensa	Proporção do total de suspensão	Proporção do total de cirurgia
Falta de vaga de UTI	180	56,4%	10,7%
Sem condições clínicas	31	9,7%	1,8%
Cirurgia anterior de longa duração	28	8,8%	1,7%
Problemas em relação à material	18	5,6%	1,1%
Falta de sangue	10	3,1%	0,6%
Mudança de conduta	7	2,2%	0,4%
Paciente recusou	6	1,9%	0,4%
Paciente não internou	5	1,6%	0,3%
Falta de Risco Cirúrgico	5	1,6%	0,3%
Agendamento Inadequado	4	1,3%	0,2%
Outros	25	8%	1%
Total	**319**	**-**	**18,9%**

Percebe-se que a maior causa de suspensão é a falta de vaga de UTI, tornando-a objeto de uma análise detalhada nas Seções 4 e 5.

Para algumas das demais causas foram sugeridas alterações nos processos com base na modelagem dos processos em notação BPMN e na análise dos dados coletados. Vale ressaltar que as sugestões de alterações nos processos foram feitas para as causas mais significativas de suspensão de cirurgias identificadas na Tabela 1 e que podem ser melhoradas via alteração de processos. Já as causas apresentadas que não são possíveis de serem tratadas por mudança de processos como, por exemplo, falta de condições clínicas, recusa do paciente à cirurgia, mudança de conduta, entre outras, fogem do escopo do trabalho e por isso não foram abordadas.

Com a análise dos processos modelados vários pontos de melhorias no processo de marcação e programação de cirurgias puderam ser identificados:

- Definição dos pacientes para marcação de forma mais otimizada;
- Realizar marcações com mais antecedência, de pelo menos 48h;
- Sinalizar de forma mais rápida para o responsável do CC caso o sangue não seja reservado;
- Encaminhar paciente para realização do risco cirúrgico logo após indicação cirúrgica;
- Priorizar a marcação pacientes com o risco cirúrgico já realizado;
- Sinalizar de forma mais rápida para o responsável do CC caso o risco não seja liberado;
- Verificar possibilidade de marcar outra cirurgia caso haja pendência de risco e reserva sanguínea já detectadas no dia da marcação;
- Realizar visita para indicação de UTI antes da marcação das cirurgias;
- Adotar uma forma otimizada de sequenciamento dos procedimentos.

A partir destas propostas, o total de suspensão de cirurgias pode ser reduzido em de 20%. As alterações foram apresentadas à direção do hospital que relatou que as mesmas estão

sendo colocadas em prática, porém ainda não se tem mensurado a real melhoria no índice de cancelamento de cirurgias.

4. Simulação de Monte Carlo

No hospital analisado, em média 12 cirurgias são realizadas, em face de uma programação de cerca de 14 cirurgias diárias. Observou-se que aproximadamente 50% das cirurgias possuem indicação de UTI, porém constatou-se que o número de altas diárias é insuficiente, sendo esta a principal causa de cancelamento de cirurgias.

Todavia, nem todos os pacientes com indicação de UTI irão necessitá-la efetivamente, pois parte não realiza o procedimento por motivos diversos, inclusos nas causas de suspensão de cirurgia apresentadas anteriormente, há ainda pacientes que, apesar da indicação de UTI, não utilizam a vaga de UTI, pois pode ocorrer uma reavaliação clínica. Os dados referentes à UTI podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Marcações com indicação de UTI em relação à quantidade efetiva e altas

	Marcações com indicação de UTI	**Não realizou por motivos diversos**	**Realizou e não usou UTI**	**Vagas necessárias**	**Quanti-dade de altas na UTI**	**Suspensões por falta de vaga de UTI**
Total	829	122	188	519	426	161
Média diária	7,47	1,27	2,24	6,18	3,87	2,52
Máximo	18	4	6	10	8	8

Disso se percebe que na política atual do hospital, as cirurgias com indicação de UTI são marcadas sem se ter uma previsibilidade das altas de UTI. Como consequência, tende-se a fazer mais marcações com indicação de UTI do que a capacidade de atendimento, acarretando em um alto índice de suspensões por falta de vaga de UTI.

Assim, foi realizada uma Simulação de Monte Carlo com o intuito de sugerir uma melhor política de marcação para as cirurgias do hospital e auxiliar na tomada de decisão em relação à quantidade de marcações com indicação de UTI a se fazer por dia.

Buscar-se-á uma solução que considere o *trade off* entre suspensões de cirurgia e vagas ociosas de UTI, pois um número muito grande de marcações de UTI por dia implica num alto índice de suspensão de cirurgias, porém caso uma quantidade reduzida de marcações ocorra, pode causar vagas ociosas de UTI.

Para realizar a Simulação de Monte Carlo, a partir da base de marcação de cirurgias, o *software* @Risk foi utilizado para determinar a distribuição da série de dados referente à porcentagem dos pacientes que não realizaram a cirurgia em relação às marcações com indicação de UTI e da série referente à porcentagem dos pacientes que realizaram o procedimento e não utilizaram a vaga assim como a distribuição da série de dados referente às altas diárias na UTI. A porcentagem dos pacientes que não realizaram a cirurgia em relação às marcações com indicação de UTI segue uma distribuição Exponencial (0,14537). Já para os pacientes que realizaram o procedimento e não utilizaram a vaga encontrou-se uma distribuição Triangular (0; 0; 0,68771). Enquanto para Altas na UTI uma distribuição Binomial (9; 0,42643).

Foram executados 10 experimentos, em que cada um equivale à análise de um número de marcações de cirurgias com indicação de UTI por dia (3 a 12 marcações – números de marcações observadas nas bases de dados). Para cada experimento foram feitas 10000 iterações na Simulação de Monte Carlo.

Os resultados dos experimentos são apresentados na Figura 2. Como citado anteriormente, existe um *trade off* entre suspensões de cirurgia e vagas ociosas, na Figura 2 se observa a relação entre esses dois aspectos.

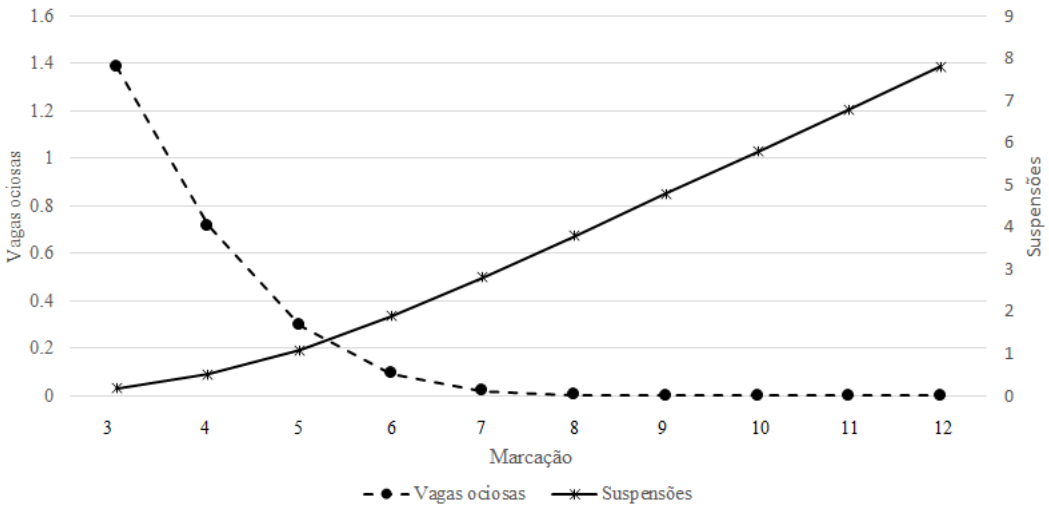

Figura 2 - Vagas ociosas e suspensões por número de marcações de cirurgia com indicação de UTI.

Cada ponto no gráfico representa a média de suspensão/vaga ociosa encontrada nos experimentos para cada número de marcação simulado. Por exemplo, para 4 marcações com indicação de UTI por dia tem-se em média 0,7 vagas ociosas e 0,5 suspensões.

Verifica-se que ao se marcar 3 ou 4 cirurgias com indicação de UTI por dia a chance de ocorrência de vagas ociosas é maior, isso seria uma alternativa ruim tendo-se em vista ser esse um recurso crítico.

Levando em consideração os objetivos do hospital, se o aspecto de evitar suspensão for preponderante, deve-se priorizar 5 cirurgias marcadas com indicação de UTI e se for mais importante evitar a ociosidade na UTI deve-se priorizar 6 marcações.

5. Modelo de Simulação de Eventos Discretos

O modelo de Simulação de Eventos Discretos foi desenvolvido para verificar os benefícios alcançados em relação ao impacto no índice de suspensões das cirurgias e no tempo de espera para cirurgias, ou seja, constatar se limitar o número de marcações para cirurgias com indicação de UTI por dia é capaz de reduzir o tempo de espera pelas cirurgias.

O modelo tem quatro partes principais: (A) a chegada de paciente para internação, (B) marcação das cirurgias, (C) geração das vagas de UTI e (D) Realização da Cirurgia no Centro Cirúrgico. Pacientes que chegam para internação são as entidades permanentes do sistema enquanto os avisos de cirurgia (gerados na marcação das mesmas) e vagas de UTI são entidades temporárias.

A estrutura geral do modelo de simulação é apresentada na Figura 3 onde se destacam os dados de entrada utilizados e os dados de saída obtidos com o modelo

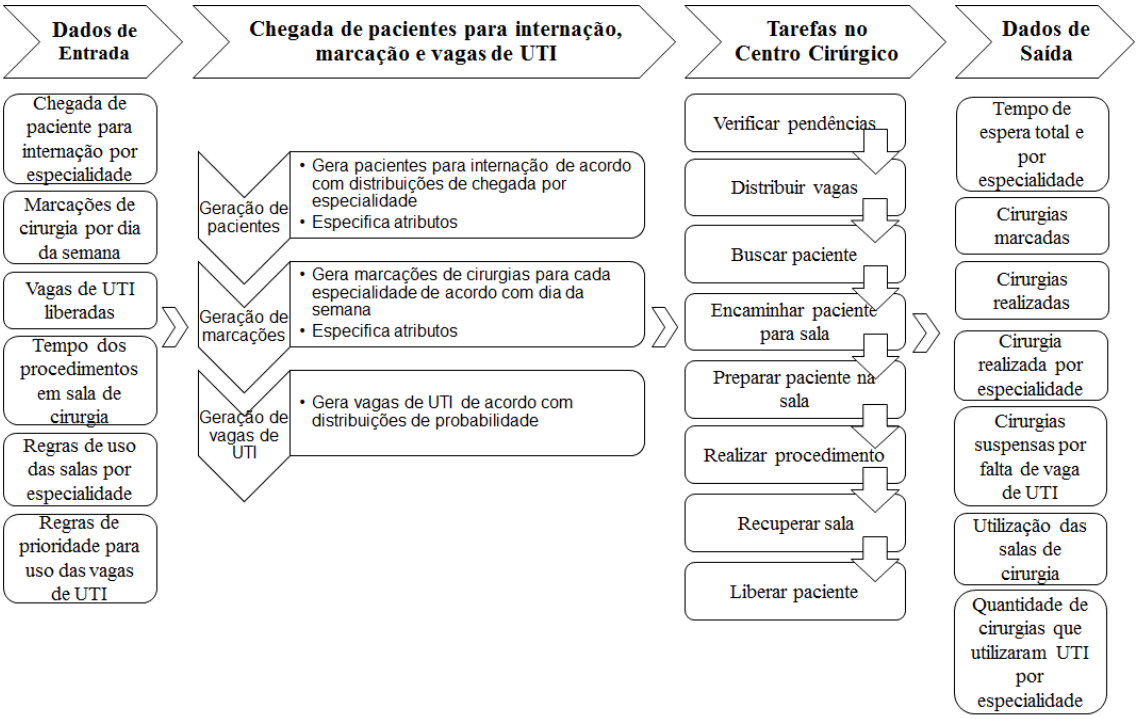

Figura 3 - Estrutura do modelo

Primeiramente, são gerados os pacientes (A) a partir dos dados de chegada para internação por especialidade. Os pacientes são internados na enfermaria referente a cada especialidade. Vale ressaltar que não existe separação de leitos para pacientes que estão aguardando a cirurgia e os que estão se recuperando de algum procedimento. Os pacientes são caracterizados pelo atributo procedimento que indica qual tipo de cirurgia o paciente está aguardando.

O processo de planejamento e programação simulado se inicia com a marcação das cirurgias onde se gera os avisos de cirurgia (B) a partir de uma distribuição de probabilidade diferente para cada dia da semana e cada especialidade. Posteriormente os avisos são caracterizados com atributos de Sangue, OPME (Órteses, Próteses e Materiais Especiais) e UTI.

As vagas de UTI são geradas por meio da distribuição de probabilidade do número de altas a partir dos dados históricos da UTI (C). Em seguida se iniciam os procedimentos para a liberação da cirurgia. Primeiro verifica-se as pendências referentes à Sangue, OPME e outras possíveis causas de suspensão, vistas na Tabela 1. Se apresentar alguma pendência, a cirurgia é suspensa. Se não houver pendências e se não tiver indicação de UTI, o paciente está liberado para a cirurgia.

Se houver indicação de UTI, verifica-se a disponibilidade de vagas que são distribuídas de acordo com as regras de prioridade do hospital. Se for atribuída uma vaga para o paciente, o mesmo é liberado para ser transportado até o Centro Cirúrgico (CC); caso contrário, a cirurgia é suspensa.

Os pacientes liberados são levados para o RPA (Repouso Pós Anestésico) no CC onde são preparados para cirurgia, que é então realizada. Após a realização do procedimento, os pacientes vão para recuperação da cirurgia. Pacientes que receberam vaga de UTI são encaminhados e os demais voltam à enfermaria. Uma vez que cada tipo de procedimento possui um tempo de recuperação específico, foi estabelecida uma distribuição de probabilidade para o tempo de recuperação de cada tipo de acordo com dados históricos. Os pacientes deixam o sistema após o tempo de recuperação ser atingido, liberando o leito ocupado.

A chegada para internação, assim como a liberação de vagas de UTI acontece todos os dias da semana. Por outro lado, a marcação de cirurgias ocorre apenas de segunda à sexta. Assim, o modelo apresenta uma parte terminal (partes B e D) e uma parte não terminal (partes A e C).

Algumas premissas tiveram que ser adotados no desenvolvimento do modelo de simulação:

- A fila de internação das enfermarias é atendida pela disciplina FIFO (*First In First Out*), isso porque o hospital não adota uma classificação de prioridades.
- Como são muitos os tipos de cirurgia realizados no hospital, esses foram agrupados por semelhança para alocação do atributo procedimento.

Foi desenvolvido um modelo de simulação no software ARENA usando as proposições explicadas anteriormente. O modelo proposto foi validado pelos especialistas do hospital e pela comparação das informações obtidas na simulação com os dados observados reais.

Uma vez que o modelo simulado apresenta uma parte terminal e uma parte não terminal, o sistema não pode ser considerado em estado estacionário e não se observa claramente uma região de aquecimento. Por isso foram feitos vários testes até alcançar um período de *warm-up* (30 dias) e número de replicações (10), onde se pudesse garantir que a ocupação das enfermarias correspondesse às condições reais de partida. Cada replicação simula 270 dias de operação, isso porque os dados reais disponíveis para comparação das variáveis de interesse são os dados de abril a dezembro.

5.1 Resultados e Discussão

O modelo foi validado fazendo-se comparação entre os dados reais do hospital e as variáveis de saída com maior influência no estudo. Essa comparação pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3 - Validação do Modelo

Variávei analisadas	Dados Reais	Dados Simulados	Δ%
Tempo de Espera Médio Total - (dias)	7,0	6,8	2,9%
Tempo de Espera Médio na Neurologia - (dias)	10,6	10,9	2,8%
Tempo de Espera Médio na Ortopedia - (dias)	5,1	5,2	1,3%
Tempo de Espera Médio na Vascular - (dias)	6,5	6,1	5,9%
Média de Marcações	14,0	14,7	4,7%
Média de Cirurgias Realizadas	12,0	11,8	2,0%
Suspensão por UTI - (%)	10,7	11,0	2,8%

Percebe-se que os dados simulados estão aderentes aos dados reais, com a variação percentual máxima não sendo maior do que 5%. Para confirmar que as médias podem ser consideradas equivalentes fez-se um *teste t* para comparação de médias a um nível significância de 95% ($\alpha = 0,05$) e obteve-se para todas as variáveis de controle apresentadas na Tabela 3 que a hipótese de as médias serem equivalentes não pode ser rejeitada.

Com o modelo verificado e validado, pode-se avaliar a proposta do uso de um limite diário para cirurgias com indicação de UTI. A proposta desse limite igual a 6 marcações com indicação de UTI, obtida pela Simulação de Monte Carlo, foi usado nos testes dessa seção. Esta proposta resulta numa redução de, aproximadamente, 61% no tempo de espera médio total. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Redução do Tempo Médio de Espera

Variáveis analisadas	Real (dias)	6 marcações com UTI (dias)	Δ%
Tempo de Espera Médio Total	7,0	2,7	61%
Tempo de Espera Médio na Neurologia	10,6	2,0	81%
Tempo de Espera Médio na Ortopedia	5,1	2,8	44%
Tempo de Espera Médio na Vascular	6,5	3,1	53%

Em relação às suspensões de cirurgias também se alcançou reduções importantes. No que se diz respeito à suspensão por falta de vagas de UTI, a redução foi mais significativa, de 53%. Porém, também se percebeu redução, mesmo que mais discreta, no índice de suspensão por outros motivos que não seja falta de vaga de UTI. Consequentemente, obteve-se uma melhoria de 39% no índice total de suspensão de cirurgias.

Com a simulação dos cenários propostos em relação às marcações com indicação de UTI pode-se comprovar que se obtêm melhorias tanto em relação ao tempo de espera médio para as cirurgias quanto em relação ao número de suspensões ao se adotar um limite diário de marcações com indicação de UTI.

Como o tempo de internação e o número de cancelamentos foram reduzidos drasticamente, é possível aumentar a quantidade de pacientes atendidos no hospital. Estes pacientes são encaminhados. Assim, foi simulado o comportamento do sistema com a política de cirurgia proposta (número fixo de 6 marcações com indicação de UTI) e um aumento da taxa de chegada de 10%, 20% e 30% número fixo de 6 marcações com indicação de UTI. Os resultados da simulação dos cenários com aumento na taxa de chegada são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Mudança do Tempo Médio de Espera com aumento da taxa de chegada

Variáveis analisadas	Sistema Atual (dias)	Taxa de chegada 10% maior (dias)	Δ%	Taxa de chegada 20% maior (dias)	Δ%	Taxa de chegada 30% maior (dias)	Δ%
Tempo de Espera Médio Total	7,0	3,0	133,8%	3,21	118,1%	3,50	100,1%
Tempo de Espera Médio na Neurologia	10,6	2,7	299,7%	3,08	244,6%	3,87	174,2%
Tempo de Espera Médio na Ortopedia	5,1	3,2	59,0%	3,47	46,9%	3,68	38,7%
Tempo de Espera Médio na Vascular	6,5	3,10	109,9%	3,10	109,4%	3,11	109,2%

Ao analisar a Tabela 5, observa-se que ao se adotar a política proposta, mesmo aumentando a taxa de chegada de pacientes, o tempo de espera permanece abaixo do observado atualmente pelo hospital.

Com isso, percebe-se que com a adoção de um número fixo de marcações para procedimentos com indicação de UTI tem-se, além da redução no índice de suspensão e redução do tempo de espera, a possibilidade de atendimento de mais pacientes pelo hospital estudado.

6. Conclusão

Este estudo mostrou que que o planejamento e programação de salas de cirurgias é influenciado por diversos fatores e envolve a coordenação de vários recursos e execução de atividades em ambientes incertos.

Esse trabalho se propôs a realizar um estudo dos processos de marcação de cirurgias em um hospital público brasileiro envolvendo a coordenação do processo de marcação com recursos externos, mais especificamente a UTI. Teve-se como objetivo compreender as atividades no decorrer do processo de programação das cirurgias para propor alterações no processo atual fornecendo parâmetros para tomadas de decisão mais bem estruturadas em relação a esse processo, melhorando o uso das vagas de UTI e reduzindo o índice de suspensões, além de verificar o impacto das mudanças sugeridas no tempo de espera para cirurgias.

A grande causa das suspensões é a falta de vaga de UTI, principalmente devido à dissociação entre as marcações com indicação de UTI por dia e a média de altas nessa unidade, com isso faz-se marcações além da capacidade de atendimento dessa unidade.

Por meio da Simulação de Monte Carlo pode-se perceber que não é viável marcar mais de 6 cirurgias com indicação de UTI por dia. Com isso, a sugestão foi adotar um limite diário para marcações com indicação de UTI e assim pode-se substituir as cirurgias que eram marcadas com indicação de UTI por outras que não dependem. Verificou-se que essa mudança pode ocasionar resultados significativas no tempo médio de espera dos pacientes, em que se alcançou a redução de 61% e no índice de suspensão total, com redução de 39%. Além disso, percebe-se que com a mudança existe a possibilidade de o hospital atender uma maior demanda, já que devido à diminuição do tempo médio de espera, a rotatividade do leito aumenta.

Conclui-se que a coordenação do processo de planejamento e programação de salas de cirurgia quando alinhados aos recursos externos ao CC pode alcançar melhores resultados para o desempenho geral do hospital e essa coordenação ajuda entender quais são os recursos críticos do hospital.

Para trabalhos futuros sugere-se desenvolver um método mais sistematizado de escolha dos pacientes a serem agendados para cirurgia, por exemplo usando otimização, considerando as indicações de UTI na marcação conforme indicado nesse estudo e testar a formas de sequenciamento de cirurgias que levem ao melhor aproveitamento da capacidade do Centro Cirúrgico.

Referências

Azari-Rad, S., Yontef, A.L., Aleman, D.M. e Urbach, D.R. (2014). A simulation model for perioperative process improvement. *Operations Research for Health Care*, 3:22–30.

Bengtsson, N., Shao, G., Johansson, B., Lee, Y.T., Skoogh, A. e Mclean, C. (2009). Input data management methodology for discrete event simulation. In *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*. IEEE Computer Society, Austin.

Blake, J.T. e Carter, M.W. (1997). Surgical process scheduling: a structured review. *Journal of Health Systems*, 5(3): 17–30.

Cardoen, B., Demeulemeester, E. e Beliën, J. (2010). Operating room planning and scheduling: a literature review. *European Journal of Operational Research*, 201 (3):921–932.

Checkland, P. (2000). Soft Systems Methodology: a thirty year retrospective. *Systems Research and Behavioral Science*, 17:S11–S58.

European Comission. (2009). Special issue on healthcare: Healthy ageing and the future of public healthcare systems. Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/social-sciences/pdf/efmn-special-issue-on-healthcare_en .pdf.> Accessado: 2015-12-10.

Guerriero, F. e Guido, R. (2011). Operational research in the management of the operating theatre: a survey. *Health Care Management Science*, 14:89–114.

Marcon, E. e Dexter, F. (2007). An observational study of surgeons' sequencing of cases and its impact on postanesthesia care unit and holding area staffing requirements at hospitals. *Anesthesia & Analgesia,* 105:119-126.

OECD (Org.). (2010). Health care systems: Getting more value for money. OECD Economics Department Policy Notes, No. 2. Disponível em: <http://www.oecd.org/eco/growth/46508904 .pdf>. Acessado: 2015-02-05.

OMG (Org.). (2011). Documents Associated with Business Process Model and Notation™ (BPMN™) Version 2.0. Disponível em: < http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>. Acessado: 2016-05-12.

Oostrum, J. (2009). *Applying mathematical models to surgical patient planning*. Roterdã, Holanda 2009. (Ph.D.). Thesis - Erasmus University Rotterdam.

Palisade (Org.). (2016). @Risk. Disponível em: <http://www.palisade.com/risk/>. Acessado: 2016-05-12.

Proença, I.M. (2011). *Planeamento de cirurgias electivas: abordagens em programação inteira.* Lisboa, Portugal. (Tese de Doutorado) - Universidade de Lisboa.

Sciomachen, A., Tanfani, E. e Testi, A. (2005). Simulation models for optimal schedules of operating theatres. *International Journal of Simulation*, 6:26-34.

Steins, K., Persson, F. e Holmer, M. (2010). Increasing utilization in a hospital operating department using simulation modeling. *Simulation*, 86(8-9):463–480.