

## USO DE SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS PARA REDIMENSIONAMENTO DE CAPACIDADE DE CENTRO CIRÚRGICO DE UM HOSPITAL DE EMERGÊNCIA

Ana Carolina Pereira de Vasconcelos Silva<sup>1</sup>, Daniel Bouzon Nagem Assad<sup>2</sup>, Fernando Luiz  
Cyrino Oliveira<sup>3</sup>

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
R. Marquês de São Vicente, 225 - Gávea, Rio de Janeiro - RJ, 22451-900

<sup>1</sup>anacpvs@aluno.puc-rio.br

<sup>2</sup>daniel.bouzon@aluno.puc-rio.br

<sup>3</sup>cyrino@puc-rio.br

**Thaís Spiegel**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
R. São Francisco Xavier, 524 - 1006 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, 20550-900  
thais.spiegel@uerj.br

### RESUMO

A gestão de operações é um campo multidisciplinar que investiga, por exemplo, a concepção, gestão e melhoria de processos voltados para o desenvolvimento, produção, distribuição e entrega de produtos e serviços, englobando atividades como a implementação de políticas, tomada de decisões contingentes, identificação e solução de problemas, resposta a incerteza, entre outros. No que tange ao dimensionamento de recursos para unidades hospitalares, o cenário brasileiro é limitado a instrumentos normativos que presumem um dimensionamento prévio e agregado. O presente artigo utiliza uma ferramenta de simulação de eventos discretos para definir a quantidade de salas de cirurgia necessárias, de forma que pacientes de emergência tenham atendimento garantido, minimizando o cancelamento de cirurgias eletivas em virtude desse tipo de demanda. Como resultado, identificou-se que a quantidade mínima estabelecida pelos instrumentos normativos não se adequava às especificidades da organização.

**PALAVRAS CHAVE. Simulação. Capacidade. Emergência.**

**Área principal (PO na Área de Saúde, Simulação)**

### ABSTRACT

The operations management is a multidisciplinary field that investigates, for instance, the design, management and processes improvement focused on the development, production, distribution and delivery of products and services, encompassing activities such as the implementation of policies, making quota decisions, identification and problem solving, response to uncertainty, among others. Regarding the resources dimensioning in hospitals, the brazilian scenario is limited to legislative instruments that assume a prior and added sizing. This article uses a discrete event simulation tool to set the amount of operation rooms needed for patient care in an emergency department, so that emergency patients have guaranteed compliance, minimizing the cancellation of elective surgeries because of this type of demand. As a result, it was found that the minimum amount established by normative instruments was not appropriate to the specific requirements of the organization.

**KEYWORDS. Simulation. Capacity. Emergency.**

**Main area (OR in Health, Simulation)**

## 1. Introdução

No Brasil, por princípio constitucional, a população tem direito à saúde, sendo esse um dever do Estado, sem a previsão de limites (BRASIL, 1988). No entanto, mesmo considerada a pertinência desse direito universal, diferenças e dificuldades pragmáticas surgem à medida que se questiona ou não de onde saem os recursos necessários para sustentar tal direito (TIEGHI, 2013). Afinal, conforme definido por Hollnagel et al. (2013: 59), a assistência à saúde é “um sistema aberto, extenso e amplamente efetivo, caracterizado por grande volume de pessoas, comportamentos emergentes e adaptativos ao longo do tempo”.

Neste contexto, projetar operações em saúde refere-se a um objeto complexo, que engloba, por exemplo, tomar decisões sobre o tamanho da unidade de saúde e sua localização, quais linhas de cuidado serão disponibilizadas, qual a política de estoque de materiais hospitalares, qual sistema de TI implantar conforme o aparato regulatório, entre outras. Já a gestão refere-se às decisões e ações que ocorrem dentro dos limites definidos pelo projeto do sistema operacional. Tratam-se, por exemplo, de atividades como a implementação de políticas, procedimentos e estratégias, tomada de decisões contingentes, coordenação de processos, identificação e solução de problemas, resposta a incerteza e aos problemas imprevistos e o incentivo às pessoas (SPIEGEL, 2013). Melhorar o sistema refere-se às atividades de experimentação e aprendizagem que visam melhorar o desempenho operacional ao longo do tempo (GINO & PISANO, 2008: 6). Em alguns casos particulares, como as unidades hospitalares de emergência, soma-se que o sistema fica sujeito a picos de demanda desencadeados por eventos externos e, portanto, não controláveis, onde cada paciente apresenta um conjunto único de necessidades (SMITH et al., 2007). Dessa forma, esse sistema precisa ser projetado para lidar com variabilidades em um cenário em que existe uma incompatibilidade entre os investimentos e sua demanda em potencial (HALL, 2013).

Com relação ao dimensionamento de recursos para unidades hospitalares, o cenário brasileiro é delimitado principalmente pela Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 50/2002, que, no contexto de uma unidade de emergência, por exemplo, define enquanto quantidade mínima de salas de cirurgia destinadas para o atendimento de pacientes de emergência (politraumatismo, parada cardíaca, entre outros) apenas uma sala. O dimensionamento imposto por instrumentos normativos presume uma demanda fixa e agregada, sem considerar as variabilidades e especificidades da unidade em questão (perfil da demanda, característica dos profissionais que atuam na unidade, disponibilidade de recursos em tempo real, entre outras). Ainda que em caráter propositivo, o SOMASUS (2011) aponta a necessidade de que tanto as salas de politrauma como as de emergência devem ser dimensionadas para atender, ao mesmo tempo, no mínimo, dois pacientes. Frente a esta inconsistência, o presente artigo se propõe a utilizar uma ferramenta de simulação de eventos discretos para definir a quantidade de salas de cirurgia necessárias para atendimento de pacientes de uma unidade de emergência. O processo de atendimento do paciente de emergência está sujeito a duas variáveis aleatórias, quantidade de pacientes que são admitidos no hospital por dia e a duração do atendimento. A base de dados utilizada no presente artigo foi extraída do sistema de informações de um hospital de emergência de um Estado brasileiro.

Do ponto de vista de sua natureza, a presente pesquisa é aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimentos para solucionar problemas específicos e práticos. Aborda o problema de forma quantitativa, tratando as informações estatisticamente de forma que possam ser classificadas, agrupadas e analisadas (SILVA & MENEZES, 2001). Adota-se uma metodologia centralmente exploratória, que tem como objetivo tornar o problema explícito ou construir hipóteses (GIL, 2007), com levantamento bibliográfico e análise de casos e dados (HART, 1999) e também descritiva, descrevendo as características principais de determinada população ou fenômeno, utilizando formas padronizadas de aquisição de dados (GIL, 2007). Com relação aos procedimentos técnicos adotados, o referencial teórico e a delimitação do problema são construídos com base em uma revisão da literatura, sendo a revisão do segundo feita de forma

sistemática na base *Science Direct*, utilizando a combinação de palavras (*surgery OR operation room OR hospital*) *AND emergenc\* AND simul\* and dimensio\* and capacit\* and stochastic and process*. De um total de 1296 resultados, 4 foram selecionados como relevantes e mais aderentes e embasaram, prioritariamente, a delimitação do problema.

O método utilizado para construção da pesquisa consiste em 4 etapas. A primeira refere-se à construção do referencial teórico, descrita na seção 2. A segunda é a delimitação do problema, tratada na seção 3. A etapa seguinte é a construção do modelo e simulação, que conta com a construção do modelo conceitual, tratamento dos dados, implementação computacional e simulação de cenários, abordados na seção 4. A última etapa, representada na seção 5, traz os resultados e análises que emergem da pesquisa.

## 2. Referencial teórico

### 2.1. Gestão de operações de saúde

A gestão de operações é um campo multidisciplinar que investiga a concepção, gestão e melhoria de processos voltados para o desenvolvimento, produção, distribuição e entrega de produtos e serviços. Envolve, dessa forma, toda uma variedade de decisões separadas que determinarão o propósito global da operação, estrutura e práticas operacionais, onde os recursos de uma organização precisam ser gerenciados na forma como são direcionados, como são projetados, como a entrega é planejada e controlada e como eles são desenvolvidos e melhorados (SLACK et al., 2009). Assim, a gestão de operações lida com as tomadas de decisões relacionadas aos processos produtivos para garantir que os bens ou serviços resultantes sejam produzidos de acordo com as especificações, nas quantidades e no cronograma exigido e com custo mínimo (SHIN & SIEGEL, 1999 apud SPIEGEL, 2013).

Conforme caracterizado na seção anterior, a saúde é um objeto complexo. O alto volume de pacientes, os fluxos no sistema de saúde, insumos, equipamentos e procedimentos, o conhecimento médico cada vez mais especializado, o rápido desenvolvimento da tecnologia empurrando a fronteira do conhecimento e criando pressões para a atualização constante da engenharia clínica, com a rápida elevação dos custos assistenciais, todos esses fatores tornam o projeto e a gestão das organizações de saúde um desafio sem paralelo em outros setores de atividade econômica. O resultado são filas crescentes, assistência fragmentada, usuários e profissionais insatisfeitos, pressão da sociedade por melhorias, e largo espaço para aumento da produtividade (HOPP & LOVEJOY, 2012).

Pedroso & Malik (2011) destacam algumas questões relevantes no que diz respeito à gestão em saúde. A primeira é a amplitude do escopo da saúde, que vai desde a perspectiva positiva (bem-estar) até a perspectiva patológica, de forma que o impacto na vida reforça sua relevância social. Destacam também sua importância econômica, uma vez que as ineficiências na gestão de saúde significam consideráveis desperdícios de recursos financeiros. Além disso, por possuir uma cadeia de valor fragmentada, pode acarretar decisões locais que não permitem aumentar o valor gerado. Dessa forma, colocam como desafio maximizar os resultados e minimizar os custos, alinhando o projeto e gestão de operações de saúde à complexidade de seus produtos e serviços, estágio de maturidade do conhecimento médico, entre outras variáveis.

### 2.2. Estrutura hospitalar

Os hospitais lidam com ativos essenciais, que são a saúde e a vida dos pacientes. Cumprem funções assistenciais (fim), administrativas e de formação (meio) para a entrega de saúde de qualidade à população e insere-se, pelo padrão brasileiro, em um sistema de saúde que se divide em público (SUS) e privado (suplementar), no qual o mesmo prestador pode cumprir funções para ambos os subsistemas (SPIEGEL & CAULLIRAUX, 2014). Jacques (2007) destaca que ao atuarem em um sistema aberto, são afetados por demandas cíclicas ou sazonais e pelas características epidemiológicas dos pacientes, além de operarem com uma estrutura de custos fixos e indiretos e que convive em um ambiente dinâmico pela incessante descoberta de novos conhecimentos e tecnologias.

De forma convergente, para Vecina Neto & Malik (2011), as estruturas hospitalares possuem características peculiares, pois as leis de mercado não se aplicam mecanicamente ao setor, em função das necessidades humanas e prioridades não mercantis, que se impõem independentemente dos custos de produção, valor de mercado e preços praticados. Adicionalmente, destacam que a concorrência não é um elemento forte no ambiente destas organizações, pois se trata de um segmento cronicamente carente de recursos para a população e, em paralelo, carente de recursos financeiros. Reforçam a questão da variabilidade da demanda e argumentam que cada paciente se comporta de uma maneira, o que dificulta uma rígida padronização do processo de trabalho e uma racionalização da oferta de serviços. Destacam também a assimetria de informação, devido a dificuldades dos clientes em julgar seus tratamentos ou necessidades. Além disso, ressaltam a característica do consumo simultâneo à produção, marcante na prestação de serviços, onde não há tempo para controle prévio da qualidade, nem estoque para casar oferta e demanda. Levantam também a questão da grande variedade de profissionais de níveis de escolaridade e formação diferentes, com interesses corporativos distintos e, por fim, citam a resistência dos médicos aos programas de gestão.

### 2.3. Departamento de emergência

O departamento de emergência possui uma característica peculiar: pacientes simplesmente “aparecem”. Este departamento pode ser uma das portas de entrada do hospital que fica sujeito a picos agudos desencadeados por eventos externos e, portanto, não controláveis onde cada paciente apresenta um conjunto único de necessidades (SMITH et al., 2007). Posto isto, emerge a necessidade de projetá-lo para lidar com todas estas variabilidades em um cenário em que existe uma incompatibilidade dos investimentos destinados aos hospitais de emergência e sua demanda em potencial (HALL, 2013). Hopp & Lovejoy (2013) apontam duas fontes distintas de variabilidade no departamento de emergência, quais sejam: variabilidade na entrada de pacientes (como visto acima) e variabilidade do tratamento (flutuações na taxa de atendimento do paciente).

De acordo com o Ministério da Saúde, os hospitais para o Atendimento de Urgência e Emergência seguem a seguinte tipologia: (i) tipo I são hospitais especializados que contam com recursos tecnológicos e humanos adequados ao atendimento de urgências e emergências, de natureza clínica e cirúrgica, nas áreas de pediatria, traumatologia ou cardiologia. Devem dispor de área física e instalações compatíveis e adequadas para acolhimento e atendimento especializado aos portadores de danos e/ou agravos específicos, bem como dispor de recursos tecnológicos mínimos e indispensáveis para diagnóstico e/ou tratamento em situações de urgência e emergência; (ii) tipo II são hospitais gerais que dispõem de unidade de urgência e emergência e de recursos tecnológicos e humanos adequados para o atendimento geral de natureza clínica e cirúrgica. Devem dispor de área física e instalações, bem como de recursos tecnológicos mínimos e indispensáveis para diagnóstico e/ou tratamento em situação de urgência e emergência; (iii) tipo III são hospitais gerais caracterizados para o atendimento geral das urgências e emergências clínicas, cirúrgicas e traumatológicas, desempenhando ainda as atribuições de capacitação, aprimoramento e atualização dos recursos humanos envolvidos com atividades meio e fim da atenção às urgências e emergências. Devem contar com recursos tecnológicos e humanos para o acolhimento e atendimento dos portadores de danos e/ou de agravos caracterizados como pequenas, médias ou grandes urgências e emergências, de natureza clínica ou cirúrgica (BRASIL, 2001).

### 2.4. Centro cirúrgico

O centro cirúrgico de um hospital é o local ou unidade hospitalar responsável por garantir o atendimento de pacientes cirúrgicos. Mantoani (2012) distingue as cirurgias classificadas como de emergência, urgência ou eletivas. As cirurgias de emergência são aquelas que, em virtude da gravidade do quadro clínico do paciente, exigem intervenção cirúrgica imediata. Já as cirurgias de urgência necessitam de intervenção mediata, podendo aguardar algumas horas, nas quais o

paciente é mantido sob avaliação e observação clínica e laboratorial. E as cirurgias eletivas compreendem os procedimentos cirúrgicos que, mesmo sendo indicados para tratar a condição clínica do paciente, podem ser realizados em data pré-agendada.

Os desafios que enfrentam, em geral, são longas listas de espera dos pacientes e utilização de recursos de forma ineficiente (NIU et al., 2013). Para Marques & Captivo (2015), a relação direta com outros departamentos tornam a eficiência em sua gestão uma peça central para a sustentabilidade financeira do hospital. A Figura 1 representa as etapas que o paciente percorre no centro cirúrgico e os principais recursos diretamente acionados.

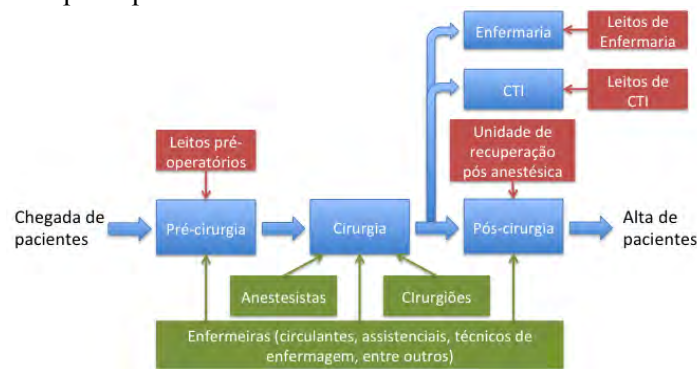


Figura 1 - Etapas e recursos em gestão de centro cirúrgico  
 Fonte: adaptado de Xiang et al. (2015).

### 3. Delimitação do problema

A natureza imprevisível da demanda de emergência e sua necessidade de atendimento no curto prazo cria um *trade-off* entre alocação de recursos para pacientes não-eletivos (emergência ou urgência) e pacientes eletivos. As cirurgias eletivas podem ser agendadas com antecedência, de forma que para que hospitais tenham elevado nível de eficiência precisam garantir altas taxas de utilização dos recursos, tempos de espera de pacientes aceitáveis e tempos de *turnover* (atravessamento) reduzidos. No entanto, para hospitais que se propõem a atender ambos os perfis, exige-se um plano de contingência, de forma que haja capacidade disponível para atendimento de forma imediata. O planejamento de um centro cirúrgico é complexo principalmente pelas diversas fontes de variabilidades. Van Riet & Demeulemeester (2015) ressaltam que estas variabilidades não podem ser ignoradas, uma vez que influenciam os *trade-offs* entre os custos hospitalares e eficiência, por um lado, e qualidade do atendimento e preferências dos pacientes, por outro. Lamiri et al. (2008) propõe um modelo matemático estocástico para tratar ambas as demandas de forma a minimizar os custos relativos para cirurgia de pacientes eletivos.

De acordo com Litvak (2009), o fluxo de um sistema hospitalar pode ser afetado por variabilidades naturais e artificiais. As variabilidades naturais são aquelas cujos parâmetros não são mensuráveis, dentre elas a variabilidade profissional (assimetria de conhecimento, experiência e aptidões entre os profissionais que prestam o serviço), a variabilidade clínica (pacientes entram com doenças diferentes, quadros clínicos diferentes e respostas diferentes mesmo quando submetido ao mesmo tratamento) e a variabilidade de fluxo (pacientes não chegam a uma determinada taxa, mas sim quando necessitam de assistência médica). As variabilidades naturais são, portanto, de natureza aleatória e devem ser gerenciadas no dia a dia. As variabilidades artificiais possuem parâmetros mensuráveis, tais como as atreladas a práticas de agendamento (um agendamento que vise maximização da ocupação de recursos, por exemplo, pode gerar conflito com o atendimento do paciente de emergência, acarretando o cancelamento de uma ou mais cirurgias eletivas), gerenciamento do fluxo do paciente (tratar o fluxo de pacientes de emergência em um hospital de forma agregada não distinguindo pacientes com quadros mais graves e que deveriam ser atendidos mais rapidamente que outros podendo aumentar as taxas de óbito) e disponibilidade de recursos (a indisponibilidade de leitos de CTI ou enfermaria, equipamentos, recursos humanos, entre outros podem aumentar filas, acarretam

cancelamentos de cirurgias e aumentos das taxas de óbito). Tratam-se, portanto, de variabilidades de natureza não aleatória e devem eliminadas.

Considerando-se a natureza estocástica dos tempos entre as entradas dos pacientes e dos tempos de procedimentos do problema em questão, adota-se a simulação de eventos discretos como ferramenta para o redimensionamento das salas de emergência do centro cirúrgico. Para Kelton et al. (2008 apud ABOUELJINANE, 2013), esta abordagem refere-se ao processo de projetar e criar um modelo computacional de um sistema para imitar suas operações ou características, a fim de compreender melhor seu comportamento para determinadas condições. Trata-se de uma das ferramentas mais utilizadas em Pesquisa Operacional para identificar potenciais áreas de melhoria, através da investigação de alternativas a partir de diferentes cenários em sistemas complexos, tais como: implantação militar (YILDIRIM et al., 2009), sistemas de telecomunicações (HARTANTO et al., 1996), redes logísticas (CARVALHO et al., 2012), sistemas de manufatura (ALDURGHAM & BARGHASH, 2008), sequenciamento (DORFMAN & MEDANIC, 2004) e saúde (BRAILSFORD et al., 2009; GUNAL & PIDD, 2010; KATSALIAKI & MUSTAFEE, 2010). Em particular, no setor da saúde, a simulação é usada em uma ampla variedade de estudos, incluindo planejamento de capacidade e de leito hospitalar (HOLM et al., 2013), cuidados intensivos (MALLOR & AZCÁRATE, 2011), configurações de sala centro cirúrgico (ABO-HAMAD & ARISHA, 2013; KONRAD et al., 2013; PAUL & LIN, 2012), o fluxo de pacientes e tempos de espera (WANG et al., 2009; CHETOUANE et al., 2011), entre outros. A simulação tem sido então usada para vários fins, uma vez que permite descrever o sistema em um alto grau de detalhe e lidar com várias fontes de incerteza, sem hipóteses simplificadoras que são de outra maneira necessária para obter previsões, ao utilizar outros métodos, como programação matemática ou teoria das filas (HENDERSON & MASON, 2005 apud ABOUELJINANE, 2013).

A pergunta que se pretende responder através da simulação estocástica de eventos discretos é, portanto, quantas salas devem, no mínimo, ser destinadas à pacientes de emergência de forma a garantir o atendimento, minimizando o cancelamento de cirurgias eletivas em virtude desse tipo de demanda.

#### **4. Construção do modelo e simulação**

##### **4.1. Modelo conceitual**

O hospital dispõe de cinco salas de cirurgia no centro cirúrgico, destinadas tanto aos pacientes de emergência quanto aos pacientes eletivos. Levando em consideração os requisitos legais apontados pela RDC nº 50 (2002), a direção do hospital destina uma sala do centro cirúrgico exclusivamente para pacientes de emergência. Desse modo, sempre que a demanda excede a capacidade de atendimento desta sala (por exemplo, mediante a entrada de dois pacientes simultaneamente ou a entrada de paciente durante atendimento de outro paciente de emergência), uma cirurgia eletiva agendada no mapa cirúrgico do dia precisa ser postergada ou, eventualmente, cancelada.

O sistema real consiste, portanto, em uma entrada de pacientes, cinco unidades de atendimento (salas de cirurgia) e uma saída. Para responder a pergunta deste estudo, o modelo levará em consideração apenas salas de atendimento de emergência. O tempo entre chegadas e o tempo de atendimento de pacientes de emergência tem comportamento aleatório ao longo do tempo, conforme observado na base histórica de dados. Pela natureza da demanda, são também entendidas como variáveis independentes. A partir dessas constatações, os dados foram tratados para posterior análise e implementação do modelo computacional.

##### **4.2. Tratamento dos dados e testes de aderência**

Utilizou-se uma base de dados históricos referentes ao realizado em dois meses, extraída do sistema de gestão hospitalar do hospital estudado. A base possui horários de entrada de cada paciente (emergência e eletivo), tipo de procedimento realizado no centro cirúrgico e tempo de duração do procedimento. Desses dados, foram extraídos e tratados aqueles que se referem aos

pacientes de emergência nos horários de funcionamento do atendimento de pacientes eletivos (das 7h às 19h, exceto finais de semana e feriados), de forma a explicitar a concorrência pelo recurso sala de cirurgia, recurso escolhido como objeto de simulação. As variáveis aleatórias do modelo conceitual são tempo entre as chegadas dos pacientes de emergência e tempo de procedimento de cada paciente. A unidade de tempo utilizada foi minutos.

Foram adotadas as seguintes premissas na formulação do modelo: (i) Assume-se que os tempos de atendimento de emergência independem do tipo de procedimento (os tempos de procedimentos de emergência foram analisados sem considerar cada tipo de procedimento, em virtude da incapacidade de predição de que tipo de procedimento será necessário por paciente); e (ii) Assume-se que todas as salas e recursos humanos (equipes) tem a mesma capacidade de operação.

A partir do tratamento dos dados e da adoção das premissas, as amostras referentes ao período em questão foram analisadas de forma a identificar o comportamento paramétrico dado por curvas de distribuição de probabilidade. Com este propósito foi testada a aderência dos dados a essas curvas utilizando o módulo *Input Analyser* do *software* Arena. Para cada variável aleatória do modelo conceitual, seguem as indicações acerca da distribuição apontada pela literatura e os resultados obtidos no teste com os dados reais no Tabela 1.

<b>Tempo entre chegadas no sistema</b>	<b>Tempo de procedimento</b>
Literatura indica <i>Poisson</i> (Van Riet & Demeulemeester, 2015)	Literatura indica Lognormal, distribuição empírica, <i>Erlang</i> , Normal, Exponencial (Van Riet & Demeulemeester, 2015)
Teste <i>Input Analyser: Weibull</i>	Teste <i>Input Analyser: Weibull</i>
Parâmetros: $-0.001 + WEIB(229, 1.17)$	Parâmetros: $16 + WEIB(103, 1.39)$
<i>p-value</i> : 0.114	<i>p-value</i> : 0.42

Tabela 1 – Resultados do teste de aderência. Fonte: os autores.

#### 4.3. Modelo computacional e simulação

Considerando-se o modelo conceitual, os resultados dos testes de aderência e as premissas adotadas, prosseguiu-se a fase de construção, no *software* Arena, do modelo computacional, que considera como recursos somente as salas de emergência. O intuito é gerar múltiplos cenários de forma a compreender a relação entre número de salas (capacidade do sistema) e os níveis de serviços (formação ou não de filas “artificiais”, ou seja, filas de pacientes de emergência, que, na prática acarretariam cancelamentos ou postergação de cirurgias de pacientes eletivos).

A simulação dos cenários foi realizada ao longo das horas de atendimento de pacientes eletivos (12 horas por dia em dias úteis) e replicada 10.000 vezes. Quando houve formação de filas (quantidade máxima de pacientes em espera) em algum cenário ao longo das 10.000 replicações, novo cenário foi simulado testando-se uma sala a mais em relação à anterior. Para garantir que as salas destinadas ao atendimento não fossem subutilizadas, definiu-se que o paciente é alocado na sala de ordem  $n+1$  caso a sala  $n$  esteja ocupada no instante de tempo em que ele foi admitido. Dessa forma, o critério de parada deste modelo é definido pela quantidade mínima de  $n$  salas que atendam a todos os pacientes (não sendo admitido que o paciente aguarde por atendimento).

### 5. Resultados e análises

Atendidas as regras e os critérios explicitados na seção anterior, são consolidados na Tabela 4 os resultados da simulação que serão discutidos ao longo desta seção.

- Análise 1: número de salas necessárias

Como a quantidade máxima de pacientes em espera no cenário 5 é igual a zero, este é o último cenário simulado, presumindo que cinco salas dedicadas ao atendimento de emergência é

a quantidade necessária para atendimento total dessa demanda (Figura 2). Embora não esteja no escopo deste estudo, vale ressaltar que esta aderência de 5 salas a demanda máxima observada pode estar enviesada pelo conhecimento prévio da equipe de salvamento (GSE, SAMU etc.) que, em casos com múltiplas vítimas, conhecendo a capacidade instalada no hospital em questão, já distribui a alocação dos pacientes cirúrgicos, redirecionando o que exceder a 5 pacientes cirúrgicos para outras unidades hospitalares da região.



Figura 2 - Variação da quantidade de pacientes em espera por sala adicionada. Fonte: os autores.

- Análise 2: utilização média versus tempo médio de espera

A simulação permite observar a relação entre a utilização média de cada sala, a medida que uma é acrescentada a cada cenário, e o impacto nos tempos médios de espera para o atendimento de emergência. Desse modo, colocando uma sala a mais dedicada a emergência (saindo do cenário 1 para o 2, por exemplo), observa-se uma redução da utilização média das salas em 25,86%, o que em contrapartida viabiliza uma redução de 20,94 minutos no tempo médio de espera, conforme Tabela 2. Nesta análise torna-se explícito o *trade-off* vigente entre a ocupação do recurso (utilização da capacidade instalada) e o nível de serviço do atendimento (tempo de espera dos pacientes para realização do procedimento cirúrgico).

	Impacto por sala adicionada			
	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Redução percentual de utilização média	25,86%	9,55%	4,85%	2,93%
Redução do tempo médio de espera	20,94	5,28	0,69	0,07

Tabela 2 – Impacto por sala adicionada (análise 2). Fonte: os autores.

- Análise 3: Maior utilização média versus maior tempo de espera médio

Dado que há variabilidade no tempo entre chegadas e no tempo de procedimento, utilizar apenas a média dos valores em todas as replicações (análise 2) pode se mostrar pouco aderente à realidade. Assim sendo, a análise 3 considera os maiores valores médios para a utilização e tempo de espera ao longo de todas as replicações. Pode-se observar (Tabela 3) que os maiores valores de utilização média e tempo médio de espera diferem dos valores médios da análise 2, de forma que um tempo que pode ser entendido como aceitável (por exemplo, tempo médio de espera igual à 6,04 minutos para o uso de 2 salas), não o é quando diante de uma parcela mais significativa da amostra (para duas salas, o tempo máximo 3º quartil de espera passa a ser 256,6 minutos).

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Maior utilização média ao longo de todas as replicações	100%	96,98%	85,73%	71,62%	57,03%
Maior tempo de espera médio ao longo de todas as replicações	362,4	256,6	213,76	88,45	0

Tabela 3 – Maiores valores médios de utilização versus tempo médio de espera. Fonte: os autores.



- Análise 4: curva de capacidade

A análise 4 evidencia que a quantidade de pacientes atendidos não varia a partir do cenário 3, ou seja, adicionar uma sala não aumenta a quantidade de pacientes que saem do sistema. O efeito observado demonstra um aumento da resiliência do sistema, isto é, um incremento na capacidade de absorver as flutuações da demanda. A Figura 3 sintetiza, então, a relação entre a quantidade média de pacientes atendidos com a quantidade de salas disponibilizadas para o atendimento de pacientes de emergência.



Figura 3 - Relação entre a quantidade média de pacientes atendidos com a quantidade de salas. Fonte: os autores.

## 6. Conclusão

Diante da complexidade inerente ao projeto e gestão de unidades de saúde, conforme exposto nas seções 1 e 2, cabe ressaltar a contribuição deste texto ao identificar a pertinência e aplicar a abordagem da simulação de eventos discretos para avaliar a capacidade de atendimento de um centro cirúrgico; e a partir de seus resultados, possibilitar aos decisores da unidade um posicionamento quanto ao redimensionamento do número de salas cirúrgicas de forma embasada, ciente das consequências aos dois perfis de pacientes atendidos.

Ao obter como resposta no cenário com 5 salas dedicadas que a quantidade máxima de pacientes que necessitariam aguardar por atendimento ao longo das 10.000 replicações na sala é igual a zero, é possível concluir, para o perfil de demanda analisado, que esta deveria ser a quantidade mínima de salas caso o nível de serviço almejado fosse 1, isto é, para que o paciente de emergência não necessite utilizar as salas destinadas ao paciente eletivo. Diante do contexto de restrições de recursos do sistema de saúde, em particular das unidades públicas operando no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), mas também das inseridas no Sistema Suplementar, constata-se a inviabilidade desta decisão do ponto de vista prático, já que o hospital deveria atender apenas as emergências, visto o número disponível de salas no centro cirúrgico.

Não obstante, o experimento realizado deve ser entendido como um “alerta” para indicar que a postergação ou cancelamento de procedimentos eletivos configura-se como um risco real assumido quando se objetiva aumentar a utilização das salas de cirurgia através do aumento do número de salas destinadas ao atendimento de pacientes eletivos. Diante destas conclusões, é possível, a partir do método proposto, contestar a adequação dos instrumentos normativos em termos de dimensionamento de capacidade de centro cirúrgico. No caso estudado, a quantidade de salas atualmente disponibilizada para atendimento de pacientes de emergência não é suficiente para atendimento imediato desta demanda.

Estas contribuições são desdobramentos analíticos da contribuição central deste artigo, a saber: o método utilizado permite o redimensionamento da capacidade instalada de uma unidade de emergência a partir da demanda histórica. Com isto, aumenta o grau de compreensão sobre o objeto, explicitando uma das causas do elevado número de cancelamentos de cirurgias eletivas. Como limitações, foram entendidas salas e equipes com mesma capacidade e os procedimentos foram tratados de forma agregada, desconsiderando especificidades derivadas da divisão por especialidade médica. Para trabalhos futuros, propõe-se a ampliação deste escopo, incluindo no modelo os demais recursos envolvidos, que são restrições para o problema, mas não foram tratadas nesta simulação, quais sejam: recursos humanos por especialidade, equipamentos, exames, entre outros.

		Quantidade de salas														
		Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3			Cenário 4			Cenário 5		
Análises	Resultados da simulação	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	5	
Análise 1: Número de salas necessárias	Quantidade máxima de pacientes em espera ( <i>Number Waiting</i> )	8	4	3	4	3	3	4	3	1	1	2	3	4	5	
	Utilização média ( <i>Scheduled utilization average</i> )	54,89%	42,34%	15,73%	42,31%	13,43%	2,72%	42,33%	13,44%	2,47%	42,33%	13,44%	2,47%	0,30%	0,02%	
Análise 2: Utilização média vs. tempo médio de espera	Tempo médio de espera ( <i>Waiting time average</i> )	26,98	6,04	0,76	6,04	0,76	0,069	6,04	0,76	0,069	6,04	0,76	0,069	0	0	
	Maior utilização média ao longo de todas as replicações ( <i>Scheduled utilization maximum average</i> )	100%	95,62%	98,34%	95,62%	78,01%	83,57%	95,62%	78,01%	70,28%	95,62%	78,01%	70,28%	42,58%	41,23%	
Análise 3: Maior utilização média vs. Maior tempo de espera médio ao longo de todas as replicações	Maior tempo de espera médio ao longo de todas as replicações ( <i>Waiting time maximum average</i> )	362,4	256,6	213,76	256,6	213,76	88,45	256,6	213,76	88,45	256,6	213,76	88,45	0	0	
	Quantidade média de pacientes atendidos ( <i>Number out average</i> )	3,44	3,66	3,68	3,66	3,68	3,68	3,66	3,68	3,68	3,66	3,68	3,68	3,68	3,68	

Tabela 4 – Resultados da simulação com 10.000 replicações. Fonte: os autores.

## Referências

- Abo-Hamad, W.; Arisha, A. (2013). Simulation-based framework to improve patient experience in an emergency department. *European Journal of Operational Research*, 224(1), 154–166.
- Aboueljineane, L.; Sahin, E.; Jemai, Z. (2013). A review on simulation models applied to emergency medical service operations. *Computers & Industrial Engineering*, 66, 734–750.
- AlDurgham, M. M.; Barghash, M. A. (2008). A generalised framework for simulation-based decision support for manufacturing. *Production Planning & Control*, 19(5), 518–534.
- Brailsford, S. C.; Harper, P. R.; Patel, B.; Pitt, M. (2009). An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. *Journal of Simulation*, 3(3), 130–140.
- Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico.
- Brasil (2001). Urgên ia e emergên ia: sistemas estaduais de referência hospitalar para o atendimento de urgên ia e emergên ia / Ministé io da Saú e, Secretaria Executiva. Brasília: Ministé io da Saú e.
- Carvalho, H.; Barrosoa, A. P.; Machadoa, V. H.; Azevedob, S.; Cruz-Machadoa, V. (2012). Supply chain redesign for resilience using simulation. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 329–341.
- Chetouane, F.; Barker, K.; Oropeza, A. S. V. (2012). Sensitivity analysis for simulation-based decision making: Application to a hospital emergency service design. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 20(1), 99-111.
- Dorfman, M.; Medanic, J. (2004). Scheduling trains on a railway network using a discrete event model of railway traffic. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(1), 81–98.
- Gil, A. (2007). Métodos e té nicas de pesquisa social. São Pa lo, Atlas.
- Gino, F.; Pisano, G. (2008). Toward a Theory of Behavioral Operations. *Manufacturing & Service Operations Management*, v.10, n.4, p. 676-691.
- Güna, M. M.; Pidd, M. (2010). Discrete event simulation for the performance modelling in health care: A review of the literature. *Journal of Simulation*, 4(1), 42–51.
- Hall, R. (2013). Patient flow: reducing delay in healthcare delivery (Vol. 206). Springer Science & Business Media.
- Hart, C. (1999). *Doing a Literature Review: Releasing the Social Science Research Imagination*. Sage Publications Ltd.
- Hartanto, F.; Kreutzer, W.; Pawlikowski, K.; Sirisena, H. R. (1996). Quantitative stochastic simulation of telecommunication networks in DESC++. *Computers & Electrical Engineering*, 22(6), 367–381.
- Henderson, S. G.; Mason, A. J. (2005). Ambulance service planning: simulation and data visualisation. In Brandeau, M.L., Sainfort, F., & Pierskalla, W.P. (Eds.), *Operations research and health care* (pp. 77–102). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Hollnagel, E.; Braithwaite, J.; Wears, R. *Resilient Health Care*. Surrey: Ashgate, 2013.
- Holm, L. B., Lurås, H.; Dahl, F. A. (2013). Improving hospital bed utilisation through simulation and optimisation: With application to a 40% increase in patient volume in a Norwegian general hospital. *International Journal of Medical Informatics*, 82(2), 80–89.
- Hopp, W. J.; Lovejoy, W.S. (2013). *Hospital operations*. FT Press, Upper Saddle River.
- Jacques, E. (2007). *Gestão Estratégica da Criação do Conhecimento nas Organizações Hospitalares: um estudo baseado na construção de protocolos médico-assistenciais*. Dissertação de Mestrado em Administração. São Leopoldo: UNISINOS.
- Katsaliaki, K.; Mustafee, N. (2010). Applications of simulation within the healthcare context. *Journal of the Operational Research Society*, 62(8), 1431–1451.
- Kelton, W. D.; Sadowski, R. P.; Sturrock, D. T. (2008). *Simulation with arena* (4th ed.). New York, NY, USA: McGraw-Hill.

- Konrad, R.; DeSotto, K.; Grocela, A.; McAuley, P.; Wang, J.; Lyons, J., et al. (2013) Modeling the impact of changing patient flow processes in an emergency department: Insights from a computer simulation study. *Operations Research for Health Care*.
- Lamiri, M.; Xie, X.; Dolgui, A.; Grimaud, F. (2008). A stochastic model for operating room planning with elective and emergency demand for surgery. *European Journal of Operational Research*, 185(3), 1026-1037.
- Litvak, E. (2009). *Managing patient flow in hospitals: strategies and solutions*. 2nd ed. Oakbrook Terrace (IL): Illinois Joint Commission Resources.
- Mallor, F.; Azcárate, C. (2011). Combining optimization with simulation to obtain credible models for Intensive Care Units. *Annals of Operations Research*.
- Mantoani, C. C. (2012). *A transfusão sanguínea no perioperatório e a ocorrência da infecção de sítio cirúrgico* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Marques, I.; Captivo, M. E. (2015). Bicriteria elective surgery scheduling using an evolutionary algorithm. *Operations Research for Health Care*.
- Niu, Q.; Peng, Q.; Y. ElMekkawy, T. (2013). Improvement in the operating room efficiency using Tabu search in simulation. *Business Process Management Journal*, 19(5), 799-818.
- Paul, J. A.; Lin, L. (2012). Models for improving patient throughput and waiting at hospital emergency departments. *The Journal of Emergency Medicine*, 43(6), 1119–1126.
- Pedroso, M.; Malik, A. (2011). As quatro dimensões competitivas da saúde. Disponível em: [http://gvsauade.fgv.br/sites/gvsauade.fgv.br/files/u5/HBR\\_Marcelo%20e%20AMM.pdf](http://gvsauade.fgv.br/sites/gvsauade.fgv.br/files/u5/HBR_Marcelo%20e%20AMM.pdf)>.
- Resolução, RDC (2002. nº 50 de 21 de fevereiro de 2002. Ministério da saúde.
- Shim, J. K.; Siegel, J. G. (1999). *Operations Management*. 1. ed. Barron's Educational Series.
- Silva, E.; Menezes, E. (2001). *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3. Ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC.
- Slack, N.; Chambers, S.; Johnston, R. (2009). *Administração da Produção*. 3 ed. São Paulo: Atlas.
- Smith, C. A; Barry, R.; Brubaker, C. E. (2007). *Going lean: busting barriers to patient flow*. American College of Healthcare Executives Management. Series Editorial Board.
- SOMASUS (2011). *Brasil*. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Departamento de Economia da Saúde e Desenvolvimento. Programação Arquitetônica de Unidades Funcionais de Saúde / Ministério da Saúde, Secretaria-Executiva, Departamento de Economia da Saúde e Desenvolvimento. – Brasília: Ministério da Saúde, 2011.
- Spiegel, T. (2013). *Contribuições das ciências cognitivas à gestão de operações: análise do impacto da experiência nas decisões do gestor de operações*. 493f. Tese (doutorado em Engenharia de Produção), COPPE / Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Spiegel, T.; Caulliraux, H. (2014). *Projeto e Gestão de Operações em Saúde*. Sessão dirigida 01, ENEGEP.
- Tieghi, A. L. (2013) *A saúde brasileira tem cura?* Revista Espaço Aberto USP.
- Van Riet, C., & Demeulemeester, E. (2015). Trade-offs in operating room planning for electives and emergencies: a review. Available at SSRN 2553849.
- Vecina Neto, G.; Malik, A. (2011) *Gestão em Saúde*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Wang, T.; Guinet, A.; Belaidi, A.; Besombes, B. (2009). Modelling and simulation of emergency services with ARIS and Arena. Case study: The emergency department of Saint Joseph and Saint Luc Hospital. *Production Planning & Control*, 20(6), 484–495.
- Xiang, W.; Yin J., Lim, G. (2015). An ant colony optimization approach for solving an operating room surgery scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering* 85 p.335–345.
- Yıldırım, U. Z.; Tansel, B. Ç.; Sabuncuoğlu, I. (2009). A multi-modal discrete-event simulation model for military deployment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17(4), 597–611.