

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS INTEGRADA COM CONCEITOS ENXUTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS EM UM HOSPITAL MILITAR DE CAMPO

Carlos Henrique dos Santos

chenrique.santos@unifei.edu.br

Gustavo Teodoro Gabriel

gustavo.teodoro.gabriel@gmail.com

Afonso Teberga Campos

afonso.teberga@gmail.com

José Antonio de Queiroz

ja.queiroz@unifei.edu.br

José Arnaldo Barra Montevechi

montevechi@unifei.edu.br

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Avenida BPS, 1303, Itajubá - MG

RESUMO

A Simulação a Eventos Discretos (SED) e o *Lean* aplicados em serviços de saúde auxiliam na qualidade e eficiência dos serviços prestados. Diante disso, o objetivo do artigo é utilizar a SED em conjunto com os princípios enxutos para analisar a estrutura de um hospital militar de campo e avaliar a capacidade do mesmo quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Para isso, o hospital de campo foi simulado no *software* FlexSim Healthcare® e, juntamente com o planejamento de experimentos (DoE), foi definido o número ideal de locais e recursos. A principal medida de saída foi o número total de pacientes completamente tratados. Os resultados mostraram que, como está configurado atualmente, o hospital de campo não é capaz de lidar com a demanda, uma vez que apenas 20,6% dos pacientes (588 de 2855) foram completamente tratados. No entanto, após alterar as variáveis de decisão, a porcentagem de pacientes completamente tratados aumentou para 93,6% (2673 de 2855), significando um aumento de 355%. Para alcançar tal resultado, o número total de locais aumentou em 162% (de 90 para 236), enquanto o número total de recursos humanos diminuiu em 52% (de 63 para 30).

Palavras-chave: SED, Lean Healthcare, DoE, hospital de campo.

ABSTRACT

Discrete Event Simulation (SED) and Lean applied in health services help the quality and efficiency of their services. The objective of this article is to use SED with the aid of Lean principles to analyze the structure of a military field hospital and to assess its ability to care for patients in case of environmental disasters. For this, the field hospital was simulated using FlexSim Healthcare® software and, with the aid of Design of Experiments (DoE), the optimal number of locations and resources was defined. The main measure of output was the total number of patients completely treated. The results showed that, as currently configured, the field hospital is unable to cope with the demand, as only 20.6% of patients (588 out of 2855) were completely treated. However, after changing the decision variables, the percentage of fully treated patients increased to 93.6% (2673 out of 2855), which means an increase of 355%. To achieve this result, the total number of locations increased by 162% (from 90 to 236), while the total number of human resources decreased by 52% (from 63 to 30).

Keywords: DES, Lean Healthcare, DoE, Field Hospital.

1. INTRODUÇÃO

A simulação de eventos discretos (SED) é comumente usada para estudos e análise de sistemas complexos, como sistemas de manufatura, sistemas de transporte, bancos e até mesmo hospitais (BANKS *et al.*, 2010; SARGENT, 2013; LAW, 2015). Quando se trata de cuidados de saúde, a SED tem um papel importante desde a década de 1960 (BRAILSFORD *et al.*, 2009) e, ultimamente, hospitais e autoridades em saúde tornaram-se mais conscientes quanto ao potencial da SED na melhoria dos serviços de saúde (CHENG, DRIVE e RABE, 2016). Exemplos de estudos que utilizaram SED em ambientes de saúde são encontrados na literatura (HUSSEIN *et al.*, 2017; BABASHOV *et al.*, 2017; URIARTE *et al.*, 2017). Além disso, ferramentas comuns à manufatura também podem ser aplicadas às áreas de saúde. O Lean Healthcare pode ser implementado na solução e otimização desses processos (GRABAN, 2013).

De fato, o *Lean* aplicado em hospitais e serviços de saúde pode mudar de forma muito positiva como esses ambientes são organizados e geridos. A metodologia *Lean Healthcare* proporciona aos hospitais menores tempos de espera dos pacientes, redução nos erros cometidos e aumento na qualidade dos serviços prestados (GRABAN, 2013). Além disso, a SED se destaca como ferramenta promissora na previsão de comportamentos de processos que apresentam tempos de processamentos estocásticas. Ela traz dinamismo para o mapa do estado atual e o mapa do estado futuro do processo, sendo possível inferir como os recursos estão sendo utilizados e onde estão localizados os seus desperdícios (DOGAN e UNUTULMAZ, 2014).

Por essa razão, isoladamente, ambas têm recebido atenção crescente nessa área (ROBINSON *et al.*, 2012). Filser *et al.* (2017) identificaram mais de 300 estudos sobre *Lean* na área de saúde, sendo que cerca de 99% destes foram publicados a partir de 2002. Já Brailsford *et al.* (2009) estimam a existência de cerca de 44 mil artigos sobre simulação na área de saúde, sendo que mais de 80% destes foram publicados a partir da década de 1990. Porém, quando integradas, o *Lean* e a SED constroem uma relação sinérgica, potencializando seus benefícios. Dentre eles, para o *Lean*, cabe destacar, por ora, a possibilidade de se avaliar antecipadamente os resultados das melhorias propostas, sem a necessidade de experimentá-las no sistema real (BHAT *et al.*, 2014; BARIL *et al.*, WANG *et al.*, 2015; 2016; HADDAD *et al.*, 2016). Já para a SED, a integração permite focar o ganho de eficiência por meio da eliminação de desperdícios, utilizando conceitos e técnicas do *Lean* (RAGHAVAN *et al.*, 2010; BHAT *et al.* 2014; YANG *et al.* 2014; HUANG e KLASSEN; 2016).

No que se refere à ambientes de saúde, existem diferentes tipos de hospitais, cada um projetado para atender a demandas específicas. Projetado e gerenciado pelo Exército dos Estados Unidos, os hospitais de campo (HC) são feitos com intuito de atender pessoas quando ocorrem desastres naturais. HCs precisam fornecer atendimento imediato aos pacientes, portanto, é necessário que os mesmos sejam bem projetados. Em outras palavras, o HC precisa ser capaz de lidar com a demanda de paciente. Isso se deve ao fato de que vários furacões atingiram o continente norte americano nos últimos anos. Áreas atingidas por furacões muitas vezes perdem suas fontes de eletricidade, água potável, comunicação, transporte e distribuição de alimentos/remédios. Muitos desses canais de distribuição permaneceram inertes e inoperáveis por vários dias após o desastre. Por essa razão, toda comunidade deve estar preparada para prestar assistência médica imediata e duradoura às populações afetadas por esses eventos.

Diante disso, o objetivo deste estudo é analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade do mesmo quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais.

Além disso, tem como objetivo avaliar e definir o número ideal de recursos e equipamentos necessários, bem como o layout mais adequado. Ainda, o escopo do projeto visa possibilitar o atendimento do maior número possível de pacientes sem que seus recursos estejam ociosos. Para isso, foi definido o escopo do objeto de estudo e aplicado em conjunto as ferramentas de *Lean Healthcare*, SED e o Design de Experimentos (DoE) para a avaliação do cenário atual e das possíveis melhorias para futuros cenários.

O artigo está dividido da seguinte forma: a seção 1 apresentou a introdução e contextualização do problema. A seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica, definindo os conceitos de Simulação a Eventos Discretos, *Lean Healthcare* e a sua integração. Logo em seguida, na seção 3, é apresentado a metodologia utilizada, definida por Montevechi *et al.*, (2010) e aplicada no objeto de estudo, explicado na seção 4. Por fim, na seção 5, apresentam-se as conclusões do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LEAN HEALTHCARE

De acordo com Ohno (1997), o foco da produção enxuta é a eliminação ou minimização dos desperdícios, ou seja, eliminar qualquer atividade que não agrega valor aos clientes ou usuários, mas que adiciona custo ao produto, seja na produção ou comercialização. Assim, as atividades podem ser divididas em três grupos, sendo eles: atividades que agregam valor, atividades que não agregam valor e atividades que não agregam valor, mas são necessárias. Dentro dos princípios do *Lean*, Ohno (1997) classifica sete grandes desperdícios, sendo eles: superprodução, estoque, espera, transporte, movimentação, processo ineficiente ou desnecessário e processos defeituosos.

Os mesmos conceitos podem ser aplicados em sistemas de saúde, onde o *Lean Manufacturing* é chamado de *Lean Healthcare*. Os desperdícios citados anteriormente são adaptados para os ambientes hospitalares (BERTRANI, 2010; GRABAN, 2013) e são explicados de acordo com o Quadro 1:

Quadro 1 – Comparação entre *Lean Manufacturing* e *Lean Healthcare*

Desperdício	Manufatura	Serviços de saúde
Superprodução	Produção acima da capacidade de consumo da demanda. Ocorre por quantidade ou por antecipação.	Excesso de monitoramento em um paciente que não demanda tais cuidados.
Estoque	Armazenamento excessivo de bens. Prejudica o atendimento ao cliente que causam espera por informações e por produtos. Pode apresentar custos de transporte e armazenagem, dano de materiais.	Resultados de exames aguardando processamento, pacientes em fila esperando pelo atendimento, materiais e medicamentos vencidos que devem ser descartados.
Espera	Longos períodos de inatividade, como espera por processo, lotes ou operador, resultando em longos lead times.	Espera do paciente para a liberação do leito, resultado de exames, tratamentos ou alta hospitalar.
Transporte	Transporte desnecessários e/ou em excesso de bens e/ou informações que resultam no aumento de custos, tempo e esforços.	Transporte excessivo de exames e medicamentos e pacientes que podem ser causados por layout inadequado.

(Continua)

(Continuação)

Desperdício	Manufatura	Serviços de saúde
Movimentação	Movimentações em excesso e/ou desnecessárias dos funcionários no sistema. Incluem os esforços físicos durante o processo de fabricação.	Movimentação excessiva de médicos, enfermeiros e assistentes, devido aos postos de trabalho estarem mal organizados.
Processo ineficiente ou desnecessário	Procedimentos realizados de forma incorreta, não agregam valor para o cliente.	Utilização de medicamentos de forma ineficiente, carrinho cirúrgico faltando item, pedidos de exames que não são necessários.
Processos defeituosos	Gerar produtos fora da especificação do cliente, seja na qualidade do produto ou no desempenho da entrega.	Realização de exames de forma inadequada, dados sobre horário/data afixados em formulários, mas nunca utilizados.

Fonte: Adaptado de Bertrani (2010) e Graban (2013)

2.2. SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS (SED)

A simulação pode ser considerada a imitação de um sistema real modelado em computador para posterior realização de experimentos para avaliação e melhoria de seu desempenho (HARREL *et al.*, 2004). Também pode ser entendida como a criação e a observação de um sistema real ou hipotético para gerar inferências referentes a ele (BANKS *et al.*, 2010). Ela é uma técnica extremamente versátil, podendo ser utilizada para investigar qualquer tipo de sistema estocástico. Tal versatilidade fez da simulação a técnica de pesquisa operacional mais utilizada para estudos que lidam com sistemas aleatórios (HILLIER e LIEBERMAN, 2001). Para Law (2015) e Bloomfield *et al.*, (2012), a simulação é uma alternativa à experimentação direta no sistema real, evitando, assim, os custos devidos à experimentação e à interrupção do fluxo de atividades do sistema real.

Dentre as vantagens da simulação, destacam-se: as regras de decisão, os fluxos de informações e os procedimentos organizacionais podem ser explorados sem que ocorra a interrupção do sistema real; os *layouts* físicos e sistemas de transporte podem ser testados sem comprometer os recursos; as hipóteses, quanto à viabilidade de implementação, podem ser testadas; o tempo pode ser expandindo ou comprimido para a investigação dos fenômenos; é possível estudar a importância das variáveis para o desempenho do sistema; e perguntas do tipo “*what-if*”, ou seja, “o que ocorre se” podem ser respondidas (BANKS *et al.*, 2010). Além de prover uma visualização completa do sistema, a simulação permite que os tomadores de decisões possam visualizar os resultados antes mesmo de sua implementação (LAW, 2015).

2.3. LEAN HEALTHCARE E SED

A integração da SED e do *Lean* em serviços de saúde auxilia na implementação dos conceitos enxutos em três grandes frentes: avaliar, facilitar e ensinar (ROBINSON *et al.*, 2012). Assim, o uso da simulação e *Lean Healthcare* em ambientes hospitalares pode trazer mais segurança qualidade e eficiência para os pacientes e para a gerência (GABA, 2004). Além disso, pode-se otimizar o fluxo de pacientes e servir como fator motivacional para os

funcionários (SALAM e KHAN, 2016). Swick e Douvaleris (2012) afirmam que hospitais que integram as duas ferramentas oferecem um método eficiente de planejamento estratégico e proporciona aos funcionários uma visão privilegiada de como reduzir desperdícios e agregar valor. Ainda, é possível diminuir o tempo de espera dos pacientes, reduzindo a carga de trabalho dos funcionários e promovendo a realocação de recursos (BHAT *et al.*, 2014; HADDAD *et al.*, 2016).

3. METODOLOGIA

A modelagem e simulação, método utilizado no estudo, pode ser dividida em três grandes fases: concepção, implementação e análise (MONTEVECHI *et al.*, 2010). Na primeira grande fase, ou seja, a **concepção**, a primeira atividade a ser realizada é a formulação do problema. Nessa etapa o processo a ser modelado é definido, para que as ações e objetivos possam ser especificados (BALCI, 2011). A segunda etapa é a construção e documentação do modelo conceitual, seguido pela sua validação. Muitas técnicas podem ser utilizadas para a documentação, porém, optar por uma voltada para a simulação é o ideal (MONTEVECHI *et al.*, 2010). A última etapa da concepção é a modelagem dos dados de entrada, podendo ser tempo, custo, porcentagens, capacidades, entre outros, variando conforme o objetivo de cada estudo (BANKS *et al.*, 2010; MONTEVECHI *et al.*, 2010).

A segunda grande fase chamada de **implementação** abrange as etapas de construção, verificação e validação do modelo computacional. A construção do modelo computacional deve ser realizada em um *software* com o qual o modelador apresenta familiaridade. Logo em seguida, é necessária a verificação, garantindo que a programação do modelo computacional corresponde ao modelo conceitual (SARGENT, 2013). Por fim, a validação do modelo computacional pode ser realizada através de testes de hipóteses, intervalos de confiança, gráficos de comparação, entre outros (SARGENT, 2013).

A última fase, chamada de **análise**, é iniciada com o planejamento, construção e análise dos experimentos. Nessa etapa é realizada a elaboração de possíveis cenários, além do uso de planejamento de experimentos (DoE) e testes estatísticos (MONTGOMERY e RUNGER, 2018). Após os experimentos, os cenários são analisados, obtendo-se, assim, as conclusões e as respostas para o problema definido na etapa de concepção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ESTUDO DE CASO

O HC atual consiste em 12 unidades de tenda as quais são acopladas umas às outras formando a estrutura do hospital. Estima-se que o HC seja capaz de atender entre 300 e 500 pacientes por dia e, neste caso, deve-se atentar para diferentes tipos de pacientes, os quais podem ter o tempo de permanência no hospital de até 48 horas. Neste caso, assume-se que os pacientes recebem os primeiros cuidados nas instalações do HC e, assim que possível, são encaminhados a unidades de saúde mais próximas.

Cada paciente chega ao HC e vai direto para a área de Triagem. Lá, os pacientes são avaliados e registrados no hospital quanto à sua condição inicial. Neste caso, os pacientes são classificados quanto à gravidade dos ferimentos e então encaminhados para áreas específicas. Caso a gravidade do paciente seja considerada baixa, o mesmo é encaminhado até a área de Pronto Atendimento (PA) para cuidados superficiais, seguido de sua alta. Caso a gravidade do paciente seja considerada média e houver a necessidade de um tratamento específico como necessidade de sutura, gesso, dentre outros, o mesmo é encaminhado para à Sala de Emergência (SE) e de lá conduzido para o setor apropriado. Por fim, caso o paciente seja avaliado como gravidade alta, o mesmo é direcionado direto para a área específica de atendimento, esta que irá depender do tipo de atendimento necessário.

Pacientes com gravidade alta podem ser encaminhados para diversas áreas. Se o paciente estiver sofrendo de um ataque cardíaco ou de alguma outra situação que requeira cuidados e monitoramento imediatos, o paciente será acompanhado para a Unidade Cardíaca (UC) ou para a Enfermaria de Cuidados Extremos (ECE). Mulheres em trabalho de parto são encaminhadas para a Maternidade (MA). Pacientes que necessitam de cuidados cirúrgicos são dirigidos para o setor pré-cirúrgico (PC) e, posteriormente a cirurgia são conduzidos para o setor Pós-operatório (PO) para recuperação. Para pacientes que carecem de médicos especializados, estes são encaminhados às Enfermarias de Cuidados Mínimos (ECM) e cuidados intermediários (ECI). Neste caso, os pacientes pertencentes à ECM recebem alta após 24 horas, enquanto os pertencentes à ECI recebem alta após 48 horas de observação. Por fim, pacientes que são considerados graves, porém que não se enquadram nos casos acima são guiados para a Sala de Emergência (SE).

Vale ressaltar que todos os pacientes que estiverem nas áreas de atendimento específicas devem estar devidamente registrados. Caso houver inconsistências no registro, a equipe de Admissão e Alta (AA) é responsável por regularizar tal registro no próprio leito, assim como são realizados os exames laboratoriais. A seguir, são descritos os fluxos de cada área de atendimento específico para o caso de pacientes considerados graves:

- I. Unidade Cardíaca (UC) e Enfermaria de Cuidados Extremos (ECE): o paciente, após chegar na UC ou na ECE, recebe uma avaliação inicial pelo grupo de Enfermeiras e em seguida é submetido por uma Avaliação Regular por técnicos de Enfermagem até que seja providenciada sua transferência para uma unidade de saúde com mais recursos. Tal transferência é realizada com apoio aéreo devido aos riscos os quais o paciente está exposto nesta condição.
- II. Enfermaria de Cuidados Intermediários (ECI): o fluxo do paciente neste caso é semelhante ao fluxo da UC e ECE, porém, ao final de 24 horas o paciente é então encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima com o auxílio de ambulância.
- III. Enfermaria de Cuidados Mínimos (ECM): neste caso, o fluxo também é semelhante ao fluxo da ECI, porém, ao final de 48 horas o paciente pode ser encaminhado para uma unidade de saúde mais próxima com o auxílio de ambulância (15% dos casos), ou o mesmo recebe alta e retorna para casa (85% dos casos).
- IV. Maternidade (MA): neste caso, a mulher em trabalho de parto é encaminhada a um leito disponível, onde a mesma será submetida à alguns exames laboratoriais e também onde será realizado o registro das informações do bebê. Após o tempo de pré-parto, a mulher é então encaminhada para a sala de parto e, após o mesmo, a mulher retorna para o leito para se recuperar, enquanto o bebê segue para o berço e aguarda o tempo de recuperação da mãe para então ser levado ao encontro dela.
- V. Pré-cirúrgico (PC) e Pós-operatório (PO): antes da cirurgia, o paciente é submetido a exames laboratoriais e raio-X e então aguarda até o momento da cirurgia na área de PC. Em seguida, o paciente segue para a sala de cirurgia (SC), onde o mesmo é submetido a tal procedimento, e finalmente é direcionado para a área de PO. O paciente fica na PO se recuperando e, após este período, o mesmo pode ser encaminhado para as áreas ECM (50,16% dos casos), ECI (37,84% dos casos) e ICU (cerca de 12% dos casos).
- VI. Sala de Emergência (SE): o paciente, ao chegar na SE, aguarda em uma sala de espera, até que seja realizada uma avaliação médica do seu estado. Após tal avaliação, o paciente pode ser direcionado para a área de sutura (cerca de 10% dos casos), onde o mesmo recebe alta após o procedimento. O paciente pode ainda ser direcionado para área de tratamento de mal-estar (55% dos casos) ou área de

tratamento de infecções (20% dos casos), onde então, é direcionado para área ECM. Por fim, o paciente pode ser encaminhado para área de Tratamento Psicológico (cerca de 3% dos casos) ou para área de Fratura (12% dos casos), onde é conduzido para área ECI.

4.2. CONCEPÇÃO

O estudo tem como objetivo analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade do mesmo quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais. Outras questões a serem resolvidas são: número ideal de funcionários e equipamentos; layout mais adequado e aprimorar o atendimento de pacientes de acordo com a capacidade de recursos humanos. A construção e documentação do processo pelo qual os pacientes passam (descrito na seção 4.1) foi realizada utilizando o IDEF-SIM (LEAL, 2008; MONTEVECHI *et al.*, 2010). A Figura 1 mostra o modelo conceitual do sistema.

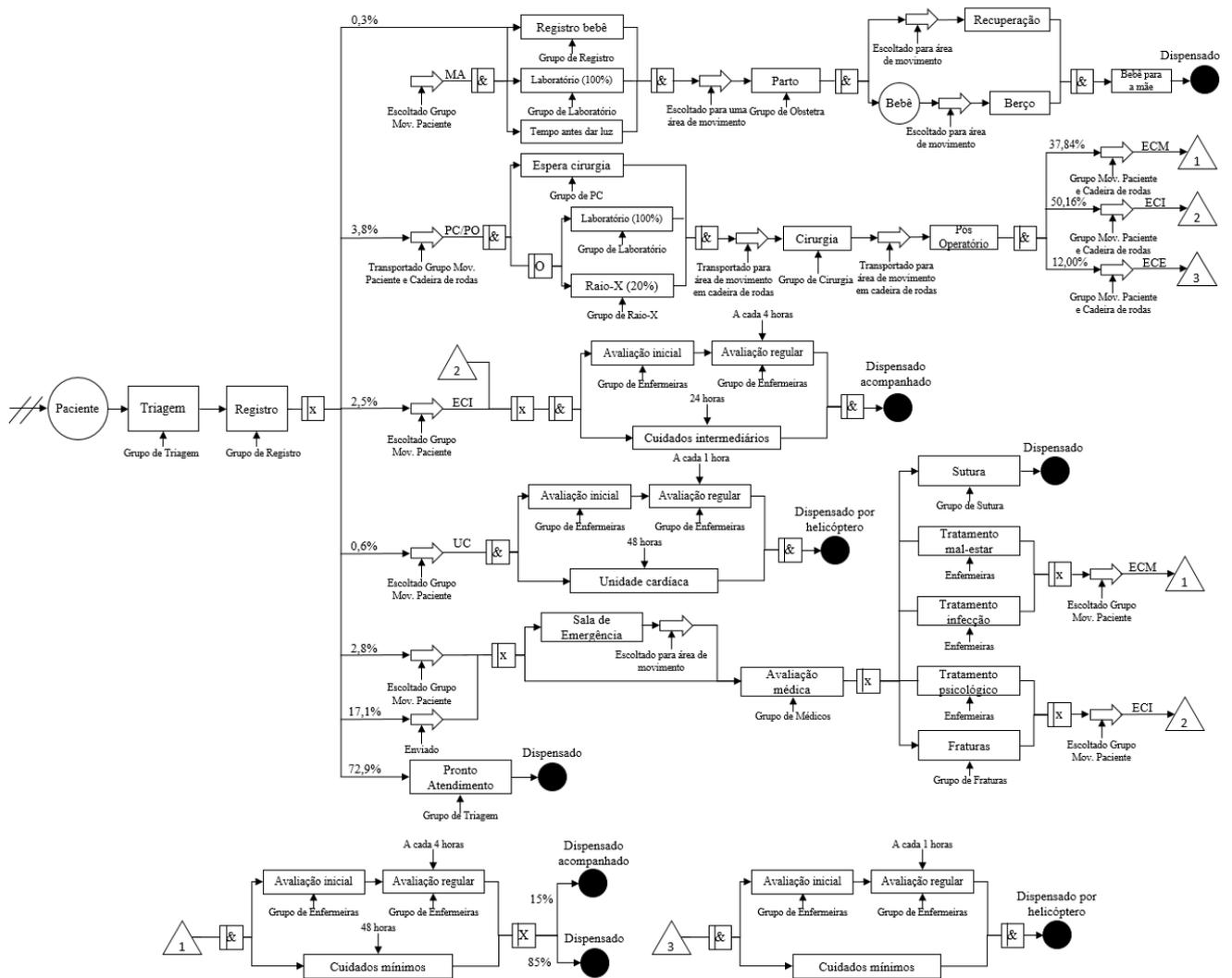


Figura 1 - Modelagem conceitual do processo simulado

A validação da modelagem conceitual se deu através da validação face a face, onde os especialistas verificam que o modelo de fato condiz com o sistema real. A coleta e modelagem dos dados se deu pelo histórico provenientes de outros desastres naturais ocorridos no continente. Os dados históricos passaram por um tratamento de dados, no qual foram atrelados às melhores distribuições estatísticas.

4.3. IMPLEMENTAÇÃO

O modelo computacional foi construído no *software* FlexSim Healthcare®. Utilizou-se esse pacote devido a interface e facilidade de programação em relação a serviços de saúde. O modelo foi verificado com os especialistas. Para a validação, o modelo foi simulado e validado através de dados históricos. A Figura 2 apresenta a tela do estado atual do modelo computacional.



Figura 2 – Tela do modelo computacional – Estado Atual

4.4. ANÁLISE

Após o modelo ser validado e simulado por uma semana, foi possível obter as métricas para as primeiras análises. Dessa forma, pode-se afirmar que o hospital não tem capacidade de atender a demanda prevista. Assim, os resultados obtidos foram:

- Na média, 2855 pacientes chegaram no modelo;
- Na média, 588 (20,6%) pacientes completaram todo o tratamento;
- Cerca de 2202 pacientes (77,01%) nem passaram pela triagem;
- 65 pacientes (2,9%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Depois de algumas execuções, notou-se que os recursos humanos estavam significativamente ociosos, indicando que podem não ser uma característica limitante. O mesmo pode ser dito para as características do *layout* e os tempos de transporte. Por outro lado, as áreas ECM, SE e Triagem se apresentaram ocupadas na maior parte do tempo. Além disso, identificou-se que há uma grande espera para atendimento para as áreas mencionadas.

No entanto, investigando as razões pelas quais os pacientes aguardam por atendimento, notou-se uma possível relação entre as áreas. Assim, quando totalmente ocupado, o ECM bloqueia as áreas predecessoras, causando um efeito sequencial que retorna à Triagem. De fato, o número de leitos (19) de ECM é insuficiente no estado atual. Em média, 67,3 pacientes necessitam desses leitos por dia, sendo que cada paciente permanece no local cerca de 48 horas. Assim, são necessários cerca de 135 leitos para satisfazer a demanda para esse tipo de paciente. No entanto, esse cálculo considera apenas a estimativa média, que não inclui a variabilidade do modelo.

4.4.1. Análise e Experimentos para Locais

Técnicas de Design de Experimentos (DoE) foram utilizadas para explorar as variáveis relacionadas ao número de locais (leitos, mesas e cadeiras) em cada área, uma vez que os recursos humanos e o layout não foram identificados como as características limitantes. As variáveis escolhidas são apresentadas na Tabela 1.

Os números de locais necessários foram estimados de forma determinística em relação à demanda para cada área usando a Equação (1). Os resultados foram arredondados para o próximo valor inteiro e também são apresentados na Tabela 1.

$$Q_i = \frac{P_i * t_i}{24h} \tag{1}$$

Onde:

Q_i = Número de locais da área i;

P_i = Média diária do número de pacientes que chegam na área i;

t_i = Moda do tempo (em horas) que o paciente permanece na área i;

Tabela 1 – Variáveis relacionados aos locais de cada área

Variáveis	Atual	Necessário
Leitos (ECM)	19	135
Leitos (ECI)	13	28
Leitos (SC)	2	2
Leitos (ECE)	4	2
Leitos (UC)	3	2
Leitos (PC)	8	3
Leitos (SE)	5	2
Cadeiras de espera (SE)	8	16
Leitos para recuperação (MA)	4	1
Leitos para trabalho de parto (TP)	1	1
Leitos (Triagem)	23	5
Total	90	197

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, optou-se por excluir as variáveis de leitos SC, UC e TP do DoE, uma vez que o número ideal necessário para esses locais é semelhante ao do cenário atual. Assim, as variáveis foram redefinidas como mostra a Tabela 2. Os pontos centrais foram definidos de acordo com o número ideal para cada local (Tabela 1). Utilizou-se uma margem de 20% dos pontos centrais para definir o “nível -” e o “nível +”. Os resultados foram arredondados para baixo e para cima, respectivamente. O número mínimo de locais foi estabelecido como um e eliminou-se a necessidade de recursos humanos nesses experimentos, uma vez que esses apresentam-se ociosos nas primeiras execuções.

Um arranjo fatorial fracionário (fração de 1/8, resolução IV) foi realizado para triagem das variáveis significativas, resultando em 32 experimentos. De acordo com a Figura 1, há sete tipos de pacientes que seguem sete fluxos diferentes. Assim, a quantidade de pacientes atendidos por cada fluxo foi utilizada como parâmetro para o DoE. Após as análises e baseado nos gráficos de Pareto gerados para cada DoE, eliminou-se as variáveis B, F e G, desde que elas não foram significativas para o modelo.

Tabela 2 – Níveis das variáveis do DoE para os locais

Variáveis	Descrição	Nível -	Ponto central	Nível +
A	Leitos (ECM)	108	135	162
B	Leitos (ECI)	22	28	34
C	Leitos (ECE)	1	2	3
D	Leitos (PC)	2	3	4
E	Leitos (SE)	1	2	3
F	Cadeiras de espera (SE)	12	16	20
G	Leitos para recuperação (MA)	1	2	3
H	Leitos (Triagem)	4	5	6

Uma Superfície de Resposta foi definida através do arranjo de experimento de Face Centrada (CFC), nos quais os números de locais apresentam um número mínimo, máximo e um ponto central. Utilizando esse arranjo, foi possível obter 10 pontos centrais e 10 pontos axiais, o que resultou em mais 20 experimentos. Decidiu-se usar essa metodologia para testar os pontos médios de cada fator. A Figura 3 apresenta uma das superfícies analisadas, correspondendo às variáveis de decisão D (leitos PC) e E (leitos SE) e à resposta para o paciente que necessita de cuidados intermediários. Nesse caso, observa-se que há uma curvatura, indicando um ponto ótimo.

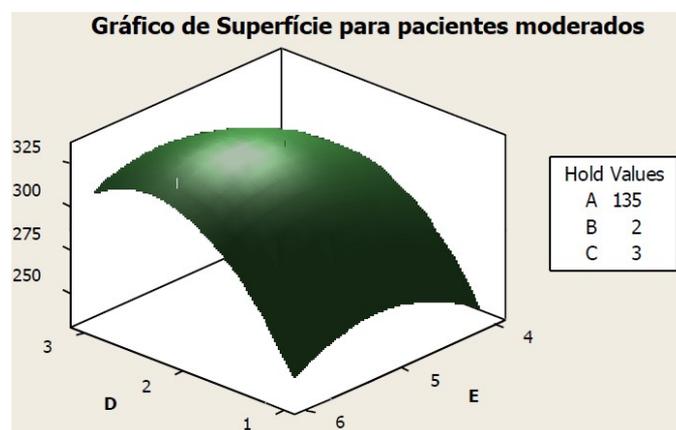


Figura 3 – Superfície de resposta

Para a otimização, utilizou-se uma abordagem multiobjetivo usando os metamodelos obtidos do DOE. Estes metamodelos foram aglutinados utilizando os Critérios Globais (RAO, 2009). Os pesos de cada função foram estabelecidos usando o método de polinômios canônicos de mistura (TORRES *et al.*, 2016). Os valores ótimos das variáveis e os resultados da otimização para a simulação de uma semana são apresentados na Tabelas 3. Os valores das variáveis B, F e G foram definidos como seu “nível-”, uma vez que não foram considerados significativos após a análise do DoE.

Após a definição do número ideal de locais, os resultados obtidos foram:

- Na média, 2855 pacientes chegaram no modelo;
- Na média, 2674 (93,7%) pacientes completaram todo o tratamento;
- Todos os pacientes (100,0%) passaram pela triagem;

- 181 pacientes (6,3%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Tabela 3 – Valores ótimos para as variáveis de local

Variáveis	Descrição	Valor Ótimo
A	Leitos (ECM)	152
B	Leitos (ECI)	22
C	Leitos (ECE)	3
D	Leitos (PC)	3
E	Leitos (SE)	2
F	Cadeiras de espera (SE)	12
G	Leitos para recuperação (MA)	1
H	Leitos (Triagem)	5

Apesar das melhorias observadas após o experimento, nota-se que os pacientes ainda aguardam muito tempo para o atendimento, principalmente nas áreas de SC, PC, SE e Triagem. Portanto, optou-se por aumentar o número de locais dessas áreas. Além disso, outros ajustes finais foram feitos, nos quais decidiu-se alterar as variáveis referentes aos leitos de ECI, ECE, MA e UC, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de locais no cenário futuro e atual

Leitos e cadeiras	Cenários	
	Atual	Futuro
Leitos (triagem)	23	15
Leitos para recuperação (MA)	4	2
Cadeiras de espera (SE)	8	12
Leitos (SE)	5	4
Leitos (PC)	8	5
Leitos (SC)	2	3
Leitos (ECE)	4	4
Leitos (UC)	3	5
Leitos (ECI)	13	33
Leitos (ECM)	19	152
Total	90	236

4.4.2. Análise e Experimentos para Recursos

Com base nos resultados obtidos após os ajustes, foi testado os recursos humanos, conforme foram definidos no cenário atual. No entanto, mesmo depois de aumentar o número de locais, os funcionários ainda se encontraram ociosos. Dessa forma, decidiu-se analisar o seu impacto através da redução desses grupos por meio de novas rodadas de simulação. As mudanças foram feitas com base na taxa de ocupação dos recursos. Analisou-se um tipo de recurso por vez, começando pelos mais especializados. Após alguns ciclos, as mudanças resumidas são apresentadas na Tabela 5.

Após a definição do número ideal de recursos e o modelo ser novamente simulado por uma semana, pode-se observar:

- Na média, 2855 pacientes chegaram no modelo;
- Na média, 2673 (93,6%) pacientes completaram todo o tratamento;

- Todos os pacientes (100,0%) passaram pela triagem;
- 182 pacientes (6,3%) começaram o tratamento, porém não terminaram.

Tabela 5 – Quantidade de recursos humanos no cenário futuro e atual

Recursos humanos	Cenários	
	Atual	Futuro
Médicos	5	4
Assistentes	2	2
Enfermeiras	26	15
Técnicos de enfermagem	12	1
Técnicos cirúrgicos	2	2
Técnicos de Raio X	2	1
Técnicos de laboratório	3	1
Técnicos de suporte	8	1
Técnicos administrativos	3	3
Total	63	30

4.4.3. Experimentos de Confirmação

Para confirmar as modificações propostas, o modelo foi simulado 30 vezes, por uma semana. De acordo com os dados observados na Tabela 4, o número total de locais aumentou em 162,0%, mas, como mostrado na Tabela 5, o número total de recursos humanos reduziu em 52,4%.

De acordo com os resultados da simulação, para os locais, são necessários um aumento das cadeiras de espera SE (50,0%), leitos SC (50,0%), UC (66,7%), ECI (153,8%) e ECM (700,0%). Entretanto, para leitos de triagem, leitos MA, SE e PC houve a necessidade de redução em 34,8%, 50,0%, 20,0% e 37,5% respectivamente. Em relação ao ECE, não houve necessidade de alterações. Em relação aos recursos humanos, não foi necessárias alterações para os assistentes, técnicos cirúrgicos e técnicos administrativos. Para os demais recursos, houve uma redução de 20,0% para médicos, 42,3% para enfermeiras, 91,6% para técnicos de enfermagem, 50,0% para técnicos de raio X, 66,7% para técnico de laboratório e 87,5% para técnicos de suporte.

Para a comparação final do estado atual com o estado futuro, além das métricas mencionadas anteriormente, foi incluído o tempo de espera de cada tipo de paciente. A Tabela 6 apresenta os resultados do cenário atual e cenário futuro, ilustrando que houve a redução do tempo de permanência do paciente durante o procedimento (min).

Tabela 6 – Saídas para os cenários atual e futuro

Saídas	Cenários	
	Atual	Futuro
Tempo permanência mulheres grávidas (MA)	0,2	13,1
Tempo permanência pacientes cirúrgicos (PO)	5023,6	77
Tempo permanência pacientes com gravidade mínima (ECM)	2073,4	22,9
Tempo permanência pacientes cardíacos (UC)	3140,5	12,5
Tempo permanência pacientes com gravidade alta (ECE)	5019,2	58,3
Tempo permanência pacientes com gravidade intermediária (ECI)	5525,2	58,2
Tempo permanência pacientes do pronto atendimento (PA)	2431,2	2,8
Total de pacientes atendidos	588	2673
Total de locais	90	236

Total de recursos humanos

63

30

A Figura 4 mostra o *layout* para o estado futuro do HC.



Figura 4 – Tela do modelo computacional – Estado Futuro

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo usar a integração da SED com conceitos enxutos em um ambiente hospitalar. Para isso, o objeto de estudo escolhido foi um hospital de campo que tem como objetivo analisar a estrutura de um HC e avaliar a capacidade do mesmo quanto ao atendimento de pacientes no caso de desastres ambientais.

A metodologia de simulação a eventos discretos definida por Montevechi et al. (2010) foi utilizada, onde o estudo foi dividido em três grandes fases: concepção, implementação e análise. Na fase de concepção os objetivos foram definidos, sendo eles: número ideal de funcionários e equipamentos; layout mais adequado e aprimorar o atendimento de pacientes de acordo com a capacidade de recursos humanos. O modelo conceitual foi construído utilizando a técnica de modelagem IDEF-SIM e os dados de entradas foram obtidos através de dados histórico provenientes de outras situações em que um hospital de campo foi necessário. Na fase de implementação, o modelo foi simulado no software FlexSim Healthcare® e validado, também, através de dados históricos.

Para a fase de análise, utilizou-se do DoE afim de verificar as variáveis que mais sofreram influência nos locais em expansão. Experimentos foram utilizados para determinar o número ideal de recursos humanos. Assim, pode-se afirmar que o modelo em seu estado atual não tem capacidade de atender a demanda requerida. Apesar disso, o modelo proposto fornece suporte adequado para a demanda, uma vez que melhorou de 20,6% para 93,6%. Todas as questões propostas no objetivo foram respondidas e, utilizando os princípios do Lean, houve uma significativa melhora em seu processo.

Em relação às limitações deste estudo, foram encontradas algumas dificuldades na execução das réplicas devido ao esforço computacional requerido. Por essa razão, apenas uma réplica foi executada no modelo de estado atual. Além disso, foi escolhido o tempo de permanência dos pacientes como medida de desempenho do HC uma vez que é a métrica mais crítica do ponto de vista do paciente. Em outras palavras, ter uma alta saída de pacientes não significa, necessariamente, que os mesmos estão sendo tratados adequadamente. Isso se deve ao fato da irregularidade de suas chegadas e o tempo de espera

pode ser alto.

Por fim, para trabalhos futuros, sugere-se testar diferentes layouts afim de avaliar o deslocamento dos pacientes, recursos humanos e equipamentos. Além disso, sugere-se utilizar o planejamento de experimentos para avaliar e otimizar a quantidade de recursos humanos e se há influência em suas iterações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES, FAPEMIG e FlexSim pelo apoio dado a esta e a outras pesquisas. Os autores ainda agradecem à SHS/FlexSim Model Building Competition pelo segundo lugar adquirido com o caso apresentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BABASHOV, V.; AIVAS, I.; BEGEN, M.A.; CAO, J.Q.; RODRIGUES, G.; D'SOUZA, D.; LOCK, M.; ZARIC, G. S. Reducing Patient Waiting Times for Radiation Therapy and Improving the Treatment Planning Process: a Discrete-event Simulation Model (Radiation Treatment Planning). **Clinical Oncology**, v.29, n.6, p.385-391, 2017.

BALCI, O. How to successfully conduct large-scale modeling and simulation projects. In: Proceedings of Winter Simulation Conference, **Proceedings...**, Phoenix, AZ, USA, 2011.

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-event Simulation**. 5. ed., New Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2010, 622.

BARIL, C., GASCON, V., MILER, J., BOUNHOL, C. The importance of considering resource's tasks when modeling healthcare services with discrete-event simulation: An approach using work sampling method. **Journal of Simulation**, v.11, n.2, p.103-114, 2017.

BERTRANI, T. M. **Lean Healthcare: recommendations for implementations of the concepts of Lean Production in hospital environments**. 2012. 166 f. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, SP, 2012.

BHAT, S.; GIJO, E. V; JNANESH, N. A. Application of Lean Six Sigma methodology in the registration process of a hospital. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.63, n.5, p.613-643, 2014.

BLOOMFIELD, R.; MAZHARI, E.; HAWKINS, J.; SON, Y.J. Interoperability of manufacturing applications using the Core Manufacturing Simulation Data (CMSD) standard information model. **Computer & Industrial Engineering**, v.62, n.4, p.1065-1079, 2012.

BRAILSFORD, S. C., HARPER, P. R., PATEL, B., PITT, M. An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care. **Journal of Simulation**, v.3, n.3, p.130-140, 2009.

CHENG R, DRIVE E, RABE M. Simulation: the Past 10 Years and the Next 10 Years. In: Proceedings of Winter Simulation Conference, **Proceedings...**, Washington, DC, USA, 2016.

DOGAN, N. O.; UNUTULMAZ, O. Lean production in healthcare: a simulation-based value stream mapping in the physical therapy and rehabilitation department of a public hospital. **Total Quality Management & Business Excellence**, v.27, p.64-80, 2014.

FILSER, L. D.; DA SILVA, F. F.; DE OLIVEIRA, O. J. State of research and future research tendencies in lean healthcare: a bibliometric analysis. **Scientometrics**, v.112, n.2, p.799-816, 2017.

GABA, D. The future vision of simulation in health care. **Quality and Safety in Health Care**, v.13, p.2-10, 2004.

GRANBAN, M. **Hospitais Lean: melhorando a qualidade, a segurança dos pacientes e o envolvimento dos funcionários**. 2. ed., Bookman: Porto Alegre, 2010, 312p.

HADDAD, M. G., ZOUEN, P. P., SALEM, J., OTAYEK, R. Case Study of Lean in Hospital Admissions to Inspire Culture Change. **Engineering Management Journal**, v.28, n.4, p.209-223, 2016.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. **Simulation using ProModel**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012, 704p.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. 7. ed. McGraw-Hill, 2001, 976 p.

HUANG, Y.; KLASSEN, K. J. Using six sigma, lean, and simulation to improve the phlebotomy process. **Quality Management Journal**, v.23, n.2, p.6-21, 2016.

HUSSEIN N.A.; ABDELMAGUID T.F.; TAWFIK B.S.; AHMED N.G.S. Mitigating overcrowding in emergency departments using Six Sigma and simulation: A case study in Egypt. **Operations Research for Health Care**. v.15, p.1-12, 2017.

LAW, A. **Simulation modeling and analysis**. 5 ed. Boston: McGraw-Hill Education, 2015, 804 p.

LEAL, F. **Análise do efeito de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, SP. 2008.

MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F. DE; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. (2007). Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: Proceedings of Winter Simulation Conference, **Proceedings...**, Washington, DC, USA.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 7 ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2018, 976 p.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção - Além da produção em massa**. 1 ed. Bookman: Porto Alegre, 1997, 150 p.

RAGHAVAN, V. A., VENKATADRI, V., KESAVAKUMARAN, V., WANG S., KHASAWNEH, M., SRIHARI, K. Reengineering the Cardiac Catheterization Lab processes: A lean approach. **Journal of Healthcare Engineering**, v.1, n.1, p.45-65, 2010.

RAO SS. **Engineering Optimization: Theory and Practice**. 4. ed. New Jersey: John Wiley; 2009, 813 p.

ROBINSON, S.; RADNOR, Z. J.; BURGESS, N.; WORTHINGTON, C. SimLean: Utilising Simulation in the Implementation of Lean in Healthcare. **European Journal of Operational Research**, v.219, n.1, p.188-197, 2012.

SALAM, M. A.; KHAN, S. A. Value creation through lean management: a case study of healthcare service operations. **International Journal of Services and Operations Management**, v.25, n.3, p.275-293, 2016.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v.7, n.1, p.12–24, 2013.

SWICK, M.; DOULAVERIS, P.; BAGNALL, T.; WOMACK, D. Application of Simulation Technology to Enhance the Role of the Professional Nurse. **The journal of nursing administration**, v.42, n.2, p. 95-102, 2012.

TORRES, A. F.; GOMES, J. H. F.; CAMPOS, P.; PAIVA, A.P. Otimização multiobjetivo com identificação de pesos ótimos: aplicação em um processo de torneamento de aço endurecido. In XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, **Anais...**, Vitória, ES, Brasil, 2016.

Uriarte, A. G.; ZÚÑIGA, E. R.; MORIS, M. U.; NG, A. H. C. How can decision makers be supported in the improvement of an emergency department? A simulation, optimization and data mining approach. **Operations Research for Health Care**, v.15, p.102-122, 2017.

WANG, T., YANG, T., YANG, C., CHAN, F. T. S. Lean principles and simulation optimization for emergency department layout design. **Industrial Management and Data Systems**, v.115, n.4, p.678-699, 2015.

YANG, T., WANG, T., LI, V. C., SU, C. L. The Optimization of Total Laboratory Automation by Simulation of a Pull-Strategy. **Journal of Medical Systems**, v.39, n.1, p.1-12, 2014.