

Simulação do processo de triagem neonatal usando modelagem por eventos discretos

Wesley Afonso Polesca de Souza

Graduado em Análise de Sistemas pela Universidade Salgado de Oliveira, especialização em MBA - Gestão em Tecnologia da Informação pela Faculdade Integradas Pitágoras e curso técnico-profissionalizante pela Escola Politécnica de Minas Gerais. Atualmente é Analista de Sistema do Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa, Minas Gerais, Brasil
wesleypolesca@gmail.com

José Helvecio Martins

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa e doutorado em Engenharia Agrícola - Purdue University. Pós-doutorado em Instrumentação e Controle de Processos - Universidade de Aveiro. Professor titular da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil
j.helvecio.martins@gmail.com

Rafael Pinheiro Amantéa

Professor dos cursos de Engenharia de Produção, Civil e Mecânica. Doutor em Engenharia Agrícola (Universidade Federal de Viçosa, UFV/MG), Minas Gerais, Brasil
rafaelamantea@gmail.com

Mauri Fortes

HD e PPhD em Engenharia de Produção Agro industrial (Engenharia Agrícola e de Alimentos) (Purdue University, EUA), Mestre em Ciências e Técnicas Nucleares e Engenheiro Eletricista (UFMG); Especialista em Finanças Corporativas (New York Institute of Finance); Diretor Científico (Conscientec – Consultoria em Ciência e Tecnologia). Ex-Membro de comitê Assessor do CNPq e da CAPES. Pesquisador (SR) Sênior (1A- vitalício), diretor (Instituto de Educação Tecnológica – IETEC); Diretor Científico (Conscientec – Consultoria em Ciência e Tecnologia), Minas Geras, Brasil
ortes.mauri@gmail.com

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJS
Recebido em 30.05.2017
Aprovado em 28.08.2017



Resumo

Desenvolveu-se um modelo de simulação por eventos discretos para predição do fluxo operacional do processo de triagem neonatal. O modelo foi validado utilizando dados coletados no Núcleo de Ações e Pesquisa de Apoio ao Diagnóstico da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Estado de Minas Gerais. O modelo foi testado no Laboratório de Triagem Neonatal da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, responsável pelo processamento das amostras coletadas pelo Programa de Triagem Neonatal do estado, que busca a realização dos exames em todos os nascidos vivos. O modelo proposto possibilita ao gestor do laboratório uma visão operacional do fluxo do programa. Portanto, o modelo oferece ao gestor do laboratório a possibilidade de realizar predições e a condução de experimentos sem a necessidade de interferir na produtividade dos recursos humanos do sistema real.

Palavras-chave: Eventos discretos. Predições. Modelos de simulação.

Simulation of the neonatal screening process using discrete event modeling

Abstract

A discrete-event simulation model for prediction of the operational flow of the neonatal screening process was developed. The model was validated using data collected in the Center of Actions and Research for Support the Diagnosis of Faculty of Medicine of the Federal University of the State of Minas Gerais. The model was tested in the Laboratory of Neonatal Screening of the Faculty of Medicine of the Federal University of the State of Minas Gerais, responsible for processing the samples collected by the Neonatal Screening Program in the State, which seeks to conduct examinations in all live births. The proposed model allows that the Laboratory Manager has a general overview of the program operational flow. Therefore, the model provides to the Laboratory Manager the possibility to perform predictions and perform experiments without having to interfere with the productivity of human resources in the real system.

Keywords: Discrete events. Predictions. Simulation models.

Simulación del proceso de triage neonatal usando modelagem por eventos discretos

Resumen

Se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos para la preimpresión de un trámite de proceso de triage neonatal. El modelo fue validado usando los datos recopilados en el Núcleo de Aulas y Búsqueda de Apoio en el Diagnóstico de la Facultad de Medicina de la Universidad Federal de Minas Gerais. El modelo fue testado en el Laboratorio de Triage Neonatal de la Facultad de Medicina de la Universidad Federal de Minas Gerais, por el procesamiento de las muestras tomadas por el Programa de Triage Neonatal del estado, que busca la realización de los exámenes en todos los nacidos vivos. El modelo propone al administrador del trabajo una visión operacional del flujo del programa. Por lo tanto, el modelo se ofrece al gestor del trabajo, la posibilidad de llevar a cabo las pruebas y la conducción de experimentos sin una necesidad de interferir en la producción de los recursos humanos del sistema real.

Palavras-chave: Eventos discretos. Predicciones. Modelos de simulación.

1 Introdução

O Laboratório de Triagem Neonatal (LTN) do Estado de Minas Gerais é responsável pelo processamento e análise das amostras de sangue coletadas dos recém-nascidos vivos realizadas pelo Programa de Triagem Neonatal (PTN). Até o ano de 2017, no Brasil, existiam 30 destes programas. O PTN foi criado e regulamentado por meio de uma portaria (Portaria GM/MS nº 822, de 6 de junho de 2001) com o intuito de realizar, gratuitamente, os exames para diagnóstico de doenças congênitas, tais como: Fenilcetonúria, Hipotireoidismo Congênito, Doença Falciforme, Fibrose Cística, Deficiência de Biotinidase e Hiperplasia Adrenal Congênita.

O PTN recebe diariamente todas as amostras de sangue coletadas nos centros de referências credenciados pelo PTN que se encontram espalhados em todo o estado. Essas amostras geram pelo menos um procedimento para cada exame. Desse processo, resulta um grande volume de dados. Devido à capacidade humana, é praticamente impossível analisar todos esses dados, sem o auxílio de

processos computadorizados. Além disso, é difícil a diferenciação de informações úteis nessas bases de dados (Fayyad, Piatetsky-Shapiro & Smyth, 1996).

O advento das novas tecnologias na área de equipamento de informática e a diminuição dos custos de armazenamento de dados, aliado ao crescimento econômico de vários setores, permitiu que as organizações reunissem, sistematicamente, uma enorme quantidade de dados e informações em suas bases de dados (Fayyad *et al.*, 1996). Sendo assim, existe uma grande quantidade de dados disponíveis dentro das organizações que, por sua vez, nem sempre são utilizadas para identificar áreas ou processos em que a empresa pode ganhar vantagem competitiva.

Especialistas estimam que somente uma pequena fração dos dados processados em uma empresa está disponível para os usuários tomarem decisões, o que leva à conclusão de que as organizações são ricas em volume de dados, mas são pobres em dados úteis (Oliveira, 1998).

Os gestores que não entendem esse fluxo como um todo, tomam decisões relativas, considerando somente o problema presente, sem relacioná-lo com o ambiente, com suas variáveis e com os demais fatores correlacionados (Coelho, 2013). Quanto maior a complexidade do sistema menor será a sua previsibilidade, devido ao número de variáveis e ao número de inter-relações existentes (Duarte, 2003).

Diante desse contexto, nesse trabalho foi desenvolvido um modelo de simulação por eventos discretos para analisar o fluxo operacional de processamento das amostras de sangue dos recém-nascidos vivos dentro no laboratório de triagem neonatal.

2 Revisão da Literatura

5.1.2.1 Modelagem e simulação

A simulação é a imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo (Banks, 1998; Law & Kelton, 2000; Prado, 2008). Neste contexto a simulação envolve a geração de um histórico artificial do sistema e sua observação para direcionar inferência envolvendo as características do sistema real que estão sendo representadas.

Para reproduzir cientificamente um modelo, é necessária a criação de hipóteses sobre seu funcionamento, formando as relações matemáticas ou lógicas, que constituem o modelo do sistema. Desta forma, as relações que compõem o sistema são simples, sendo possível utilizar métodos matemáticos como álgebra, cálculo ou teoria da probabilidade, para obter os resultados exatos. No entanto, a grande maioria dos sistemas do mundo real é complexa, ao ponto de não permitir avaliação analítica, sendo necessário que estes modelos sejam estudados por meio de simulação (Law, 2007).

Apesar de as ferramentas de simulação serem excelentes para realização de análises, elas também apresentam vantagens e desvantagens, as quais são apresentadas a seguir (Freitas Filho, 2008).

Principais vantagens:

- a) Depois de o modelo de simulação ter sido desenvolvido, ele pode ser utilizado várias vezes para avaliar projetos propostos;
- b) As hipóteses sobre como ou por que determinados problemas ocorrem podem ser facilmente testadas para verificação;
- c) Como os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, dentre outras, podem ser avaliadas, sem que o sistema real seja perturbado, podendo explorar questões do tipo: o que aconteceria se?
- d) Permite o controle do tempo, tornando possível reproduzir os problemas de forma mais rápida ou mais lenta para melhor a sua avaliação;

- e) Apresenta facilidade na aplicação do método em comparação a métodos analíticos;
- f) Apresenta nível de detalhes muito semelhante ao sistema real;
- g) Apresenta facilidade na identificação de gargalos, facilitando a proposição de melhorias, dentre outras.

Principais desvantagens:

- a) Os resultados podem ser de difícil interpretação (processos aleatórios incluídos no modelo);
- b) A modelagem e experimentação, associadas a modelos de simulação, consomem muitos recursos, principalmente tempo;
- c) Exigência de treinamento para construção de modelos, o que pode levar algum tempo.

Segundo Sakurada & Miyake (2009), a simulação é uma técnica que pode ser utilizada tanto para o desenvolvimento de novos sistemas ou para reconfiguração física ou lógica de um sistema existente. Auxiliando os gestores nas tomadas de decisão em problemas complexos e possibilitando melhor conhecimento dos processos das organizações.

5.22.2 Simulação por eventos discretos

Na simulação por eventos discretos (SED), o estado do sistema muda discretamente no tempo, não sendo de forma contínua e o comportamento não obedece a um padrão de determinístico de entrada e saída, mas aleatórios e geralmente é caracterizados por uma distribuição de probabilidade que melhor representa o fenômeno real estudado (Sakurada & Miyake, 2009).

A simulação por eventos discretos (SED) é amplamente aplicada e tem como objetivo estimar o desempenho do sistema, permitindo a realização de análises de sensibilidade, análise de impacto, análise de paradas de equipamentos, dentre outras situações.

O avanço na tecnologia de simulação discreta tem tornado possível o uso de modelos computacionais aplicados à tomada de decisão de rotina, especialmente

em projetos de sistemas futuros, baseados em dados atuais (Harrell, Ghosh, & Bowden, 2002).

A simulação de eventos discretos (SED) é caracterizada por eventos nos quais as mudanças acontecem de maneira descontínua, ou seja, sofrem mudanças bruscas, conforme ilustrado na Figura 1 (Duarte, 2003; Strack, 1984).

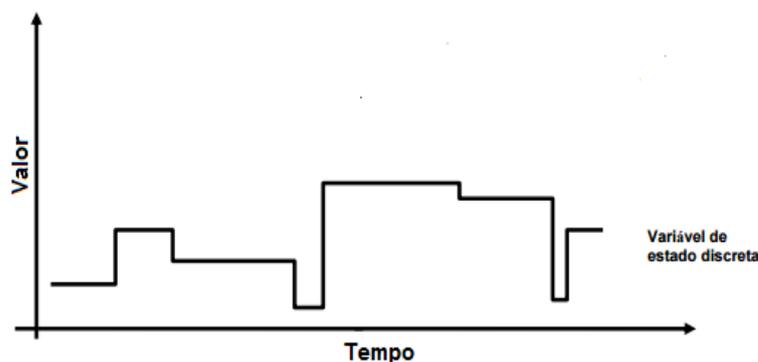


Figura 1 - Simulação de eventos discretos.

Fonte: Duarte, 2003. Adaptado pelos autores.

Balci (2013), define a simulação e destacando a importante função de realizar experimentos e definir cenários diferentes, sendo assim ele define simulação como o ato de experimentar ou executar um modelo.

Segundo Brito & Botter (2014), as principais características da Simulação por Eventos Discretos são: Analítica, ênfase na complexidade do detalhe; Rede de filas e atividades; Entidades individuais, atributos, decisões e eventos; em pontos discretos do tempo; Precisão numérica, muito dependente; Predições precisas e detalhadas das medidas de desempenho; compreensão de regras de decisão e interpretação de cenários.

Strack (1984) recomenda a utilização da simulação por eventos discretos quando: Não há uma formulação matemática completa para o problema; Não há método analítico para a resolução do modelo matemático; Resultados são mais fáceis de serem obtidos por simulação que por qualquer outro método analítico; Não existe habilidade técnica para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica; Torna-se necessário observar o desenvolvimento do processo desde o início até o seu término; Quando são necessários detalhes específicos do sistema; Quando a experimentação na situação real apresenta inúmeros obstáculos ou não é possível

5.3.2.3 Processo de modelagem em simulação

Segundo Sakurada & Miyake (2009), partindo do princípio que não existem sistemas ideais que representam os sistemas para fins de estudos gerenciais, pode ser considerado que a forma de representação de um sistema é principalmente, uma ciência subjetiva. Isso porque a compreensão do sistema e a identificação de seus elementos e relacionamentos desses elementos, depende diretamente do conhecimento, da experiência e da habilidade do modelador. O processo de modelagem deve inicialmente buscar uma clara compreensão da estrutura e dinâmica do sistema real a ser simulado e somente então avançar para a derivação dos procedimentos experimentais que possibilitarão analisar seu comportamento.

As simulações de eventos discretos abrangem sistemas de médio e alto nível de detalhamento, sendo geralmente aplicados para a modelagem de sistema de baixo nível de abstração, diferentemente da Dinâmica de Sistemas que é uma metodologia de simulação utilizadas em modelagem de sistema em nível estratégico (Borshchev & Filippov, 2004).

Segundo Freitas Filho (2008), a aplicação de simulação não busca somente a construção de um modelo mais também busca: Descrever o comportamento do sistema; Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas; usar o modelo para prever o comportamento futuro, isso é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

5.4.2.4 Programas computacionais para simulação

São discutidos, sucintamente, neste trabalho dois programas que podem ser usados para a simulação de eventos discretos: o *ProModel* e o *ARENA*.

✓ *ProModel*

Segundo Benson (1997), o programa *ProModel* é uma poderosa ferramenta de simulação, que pode ser utilizada para modelagem de todos os tipos de sistemas de produção, abrangendo desde pequenas lojas de trabalho e células de usinagem até

grandes sistemas de produção em massa, sistemas de fábrica flexível e sistemas de cadeia de suprimento. O *ProModel* é um sistema baseado no *Windows* com interface gráfica intuitiva. A modelagem é desenvolvida nele utilizando objetos que eliminam a necessidade de programação.

Os elementos de modelagem do *ProModel* fornecem objetos (blocos) de construção para representar os componentes físicos e lógicos de um sistema que está sendo modelado. Os elementos físicos do sistema, tais como peças, máquinas, ou recursos, podem ser representados graficamente ou por nome.

✓ **Programa Computacional ARENA**

O programa computacional *ARENA* é destinado à representação de processos em um ambiente gráfico integrado à simulação, contendo inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise dos resultados.

Os elementos estáticos do programa *ARENA* formam um ambiente bem definido, com regras e propriedades que interagem com os elementos dinâmicos que fluem dentro do ambiente (Paragon Decision Science, 2002) como, por exemplo, em uma linha de produção constituída por máquinas (elementos estáticos) nas quais, quando em operação, passam peças ou matéria-prima (elementos dinâmicos) que vão sendo processadas até a saída do produto final.

O programa *ARENA* possui as seguintes ferramentas (Kelton & Sadowski, 1998):

- a) Analisador de dados de entrada (Input Analyzer);
- b) Analisador de resultados (Output Analyzer);
- c) Analisador de processos (Process Analyzer);
- d) Otimizador (Optquest).

O programa *ARENA* é composto por um conjunto de blocos, utilizados para demonstrar ou descrever uma aplicação real, os quais funcionam com comandos de uma linguagem de programação própria.

Os elementos básicos do programa são as entidades que representam pessoas, objetos, transações, dentre outras, que se movem ao longo do sistema; as estações de trabalho que demonstram onde será realizado algum serviço ou

transformação e, por fim, o fluxo que representa os caminhos que as entidades irão percorrer ao longo das estações (Fernandes, Silva, Pereira, & Yamaguchi, 2006).

5.5.2.5 Triagem Neonatal

O termo triagem Neonatal se originou no vocabulário francês da palavra *Triage*, que significa seleção ou separação de um grupo. Na área da saúde pública é uma ação primária, ou seja, a detecção por meio de testes aplicados a uma população de indivíduos em busca de uma determinada patologia. Aplicando essa definição Triagem Neonatal, implica em aplicar essa metodologia de rastreamento, especificamente, na população com idade de 0 a 30 dias de vida (Ministério da Saúde, 2004).

Segundo Kopacek, Castro, Chapper, Amorim, Lüdtké & Vargas (2015), Triagem Neonatal é uma ação preventiva para o diagnóstico de diversas doenças congênitas ou infecciosas assintomáticas no período neonatal, buscando interferir precocemente e modificar o curso da doença, por meio de um tratamento específico que diminua ou elimine as sequelas clínicas a ela associadas.

3 Metodologia

Este trabalho consistiu de duas etapas: (1) modelagem do processo do laboratório de triagem neonatal utilizando simulação por eventos discretos e (2) validação do modelo de simulação. Foi utilizado como objeto de estudo e validação do modelo de simulação por eventos discretos os dados resultantes das análises realizadas em amostras de sangue de recém-nascidos vivos coletadas no Laboratório de Triagem Neonatal (LTN) do Estado de Minas Gerais.

No Estado de Minas Gerais, existe o Núcleo de Ações e Pesquisa em Apoio ao Diagnóstico (NUPAD), que é um órgão complementar da Faculdade de Medicina (FM) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), criado em 1993 com o objetivo de implantar o Programa de Triagem Neonatal (PNTN) pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES-MG). Posteriormente, o núcleo foi cadastrado como serviço de Referência em Triagem Neonatal (SRTN) do Estado pelo Ministério da Saúde (Universidade Federal de Minas Gerais, 2017).

O Programa de Triagem Neonatal de Minas Gerais (PTN-MG) atende, gratuitamente, a todos os 853 municípios do Estado de Minas Gerais. O Programa consiste na realização do exame de triagem neonatal (conhecido popularmente como o teste do pezinho), para o diagnóstico em tempo oportuno, tratamento e acompanhamento das crianças diagnosticadas com algum tipo de doença congênita (Universidade Federal de Minas Gerais, 2017).

A organização do programa de Triagem Neonatal pode ser observada na Figura 2. Onde as coletas são realizadas nos postos de saúde e enviadas para o laboratório de Triagem Neonatal (LTN) para a realização dos exames. Caso a amostra esteja com os valores alterados é encaminhado uma comunicação para o setor de busca ativa, onde são realizados os encaminhamentos. Esses encaminhados são, para a realização de uma nova coleta ou para o encaminhamento ao médico para o tratamento ou a confirmação do diagnóstico.

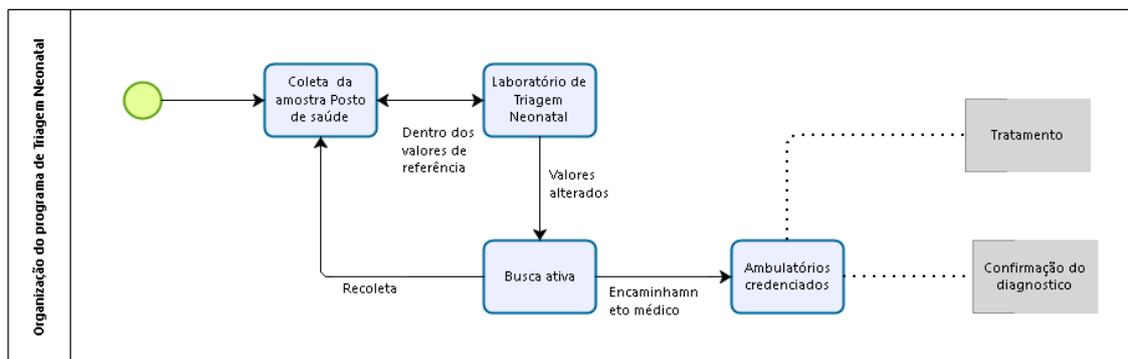


Figura 2 – Organização do programa de Triagem Neonatal

Fonte: Elaborador pelos autores, 2017.

O desenvolvimento do modelo de simulação seguiu as etapas representadas na Figura 3. Onde o projeto de simulação se inicia com a fase de concepção, na qual, os pesquisadores conhecem o processo a ser simulado, ao decorrer dessa etapa é gerado o modelo conceitual que representa uma abstração da realidade, dessa forma na próxima etapa é realizada a separação e descrição das possíveis variáveis que serão utilizadas na simulação, em seguida é realizado o relacionamento entre as variáveis separadas, possibilitando a construção do modelo. Após a construção do modelo é realizado a simulação e com os dados gerados pela simulação é realizado a validação.

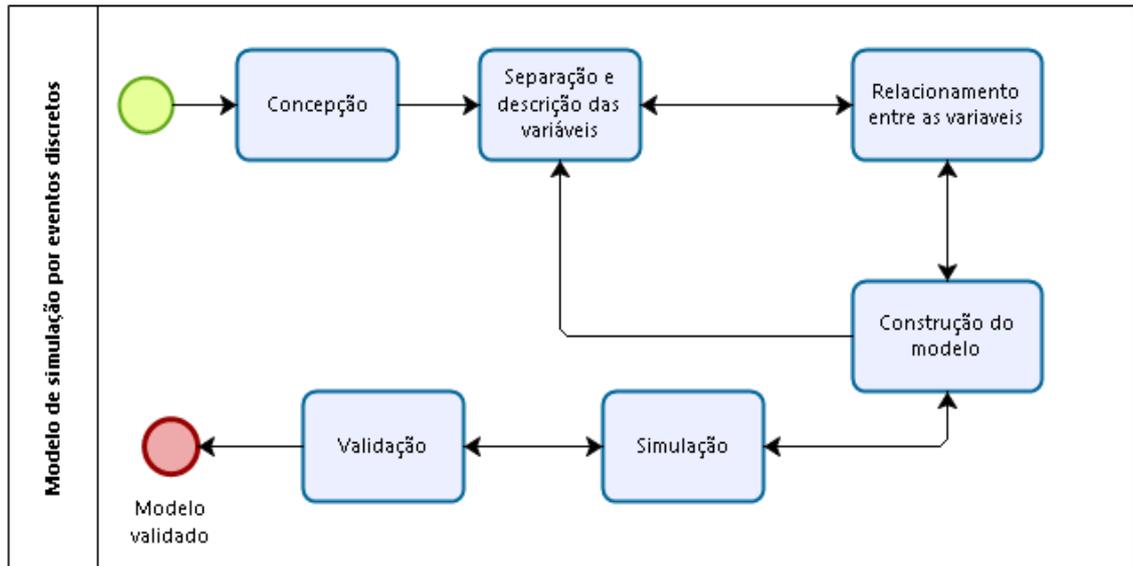


Figura 3 – Desenvolvimento do modelo de simulação por eventos discretos
Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

5.6.3.1 Desenvolvimento do modelo de simulação por eventos discretos

Para realizar um estudo detalhado do processo realizado no Laboratório de Triagem Neonatal, foram utilizadas técnicas de modelagem de simulação por eventos discretos. Este tipo de simulação é mais apropriado em simulações com baixo nível de abstração e mais detalhamento (Sweetser, 1999).

O processo de Simulação de Eventos Discretos (SED) pode ser definido como uma coleção de entidades que agem e interagem juntas, por meio de processos no sistema, buscando um fim lógico (Law & Kelton, 2000).

Simulação de Eventos Discretos (SED) tem sido muito eficiente para simulação de sistemas complexos, especialmente logísticos, uma vez que é capaz de representar, com fidelidade, o comportamento de, praticamente, qualquer sistema, provendo ao gestor valiosas informações de como o sistema pode ser modificado ou qual poderia ser seu desempenho (Sweetser, 1999).

O modelo de Simulação de Eventos Discretos (SED), proposto neste trabalho, abrange as principais variáveis envolvidas no fluxo operacional do Laboratório do Programa de Triagem Neonatal (PTN) do Estado de Minas Gerais.

Foi utilizado o programa computacional *ProModel* para realizar a simulação por eventos discretos. O módulo do analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*) do programa computacional *ARENA* foi utilizado para determinar as distribuições estatísticas apropriadas para cada evento.

5.7.3.2 Validação do modelo de simulação por eventos discretos

Foram utilizados dados obtidos a partir das análises das amostras de sangue dos recém-nascidos vivos, realizadas pelo Programa de Triagem Neonatal – PTN de Minas Gerais, do ano de 2015 para validar o modelo de simulação de eventos discretos. Os resultados das simulações foram comparados com os dados reais.

Um método que pode ser utilizado para validar um modelo de simulação é fornecer os valores de entrada e analisar se esses valores processados correspondem às respostas no mundo real (Bratley, Fox, & Schrage, 2011). Este mesmo autor recomenda que somente os dados de entrada devam ser alterados e os demais devem permanecer constantes.

A simulação de evento discreto foi validada usando o tempo médio de permanência das entidades no sistema, comparando os dados simulados com os dados reais por meio do erro relativo. Foram realizadas vinte simulações considerando um período de noventa dias.

4 Resultados e discussão

Apresentam-se, a seguir, os resultados do desenvolvimento do modelo de simulação de eventos discretos e da validação do modelo de simulação por eventos discretos.

5.8.4.1 Desenvolvimento do modelo de simulação de eventos discretos

Para realizar a abstração do mundo real foi desenvolvido o modelo conceitual do Laboratório de triagem Neonatal (LTN), apresentado na Figura 4. Segundo Robinson (2008), a modelagem conceitual é um processo de abstração de um modelo a partir de um sistema real ou proposto.

A modelagem conceitual é a parte mais importante e difícil de um processo de desenvolvimento de um modelo de simulação. Esse modelo afeta, todos os aspectos do estudo, sendo assim um modelo conceitual bem desenvolvido, pode aumentar a

possibilidade de sucesso no processo de simulação. Por meio desse modelo é possível passar de uma solução problemática para uma definição do que será modelado.

O modelo conceitual possui essas características (Robinson, 2008):

- a) A modelagem conceitual é interativa, sendo continuamente revisada ao longo de um estudo de modelagem;
- b) O modelo conceitual é uma representação simplificada do sistema real;
- c) O modelo conceitual é independente do software;
- d) A perspectiva do cliente e do modelador são importantes na modelagem conceitual;

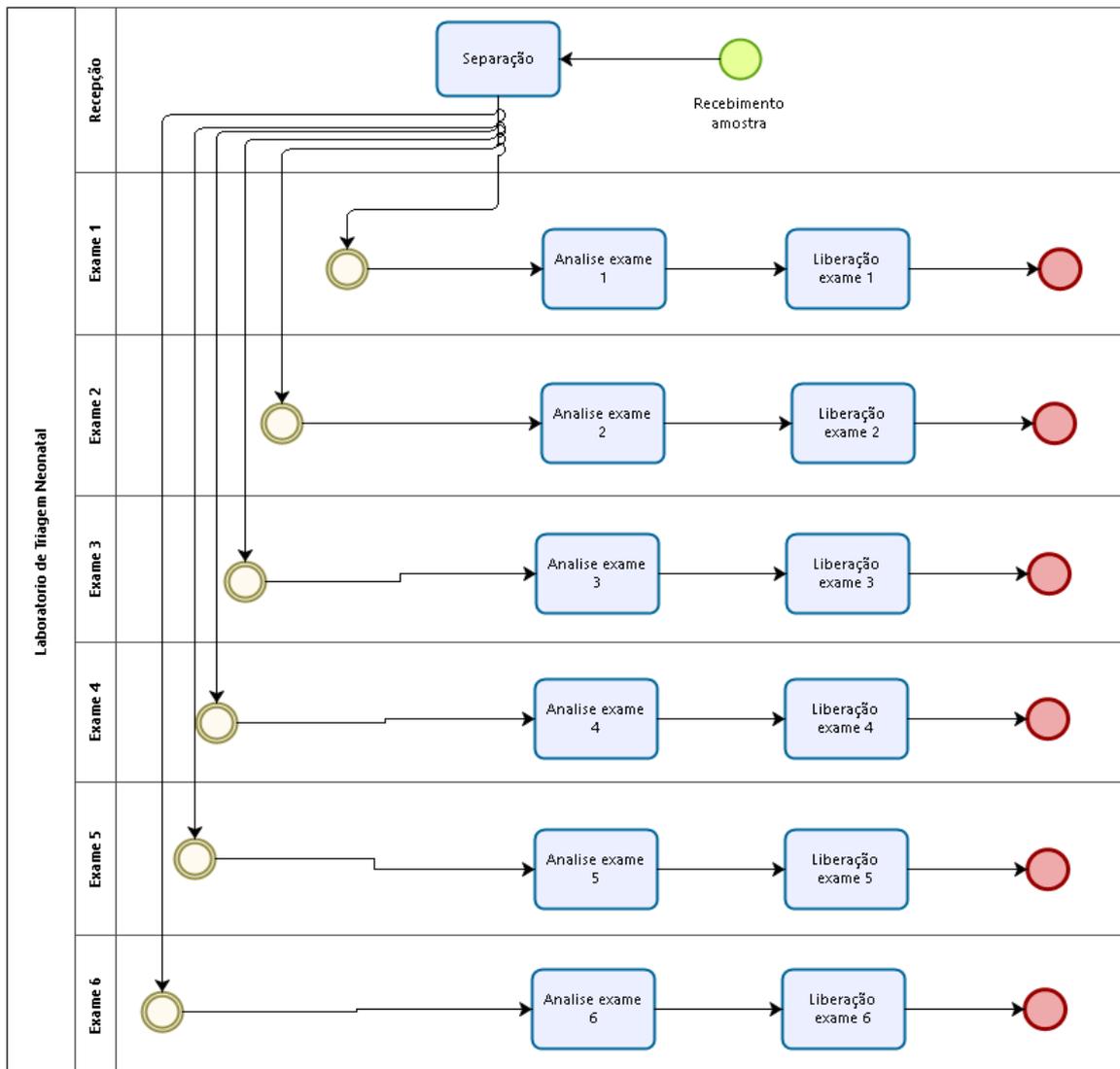


Figura 4 – Modelo conceitual do Laboratório de Triagem Neonatal

Fonte: Elaborador pelos autores, 2017.

O modelo de simulação apresentado na Figura 5, representa o fluxo do processo operacional do Laboratório de Triagem Neonatal (LTN). Observa-se que o número de amostras processadas, está relacionado ao número de pacientes que realizam o primeiro exame e o número de pacientes que realizam exames confirmatórios.

Quando o LTN recebe as amostras, elas são separadas e picotadas, para cada exame individualmente. Depois os exames são processados e, em seguida, os resultados são analisados e liberados por um técnico laboratorial, e os exames com o resultado fora dos valores de referência são processados novamente, utilizando a mesma amostra.

Por meio deste modelo de simulação por eventos discretos, é possível analisar o tempo gasto para a realização de cada exame, o tamanho da fila de espera e o tempo gasto para o processamento em cada uma das etapas descritas no modelo. Também é possível realizar simulações, alterando o número de técnicos que atuam em cada parte do modelo.

Os seis tipos de exames analisadas no processo de triagem neonatal foram denominadas de entidades, denominadas de Exame 1, Exame 2, Exame 3, Exame 4, Exame 5 e Exame 6. Estas entidades especificam os tipos de exames realizados e estão claramente definidas no fluxograma do processo apresentado na Figura 5.

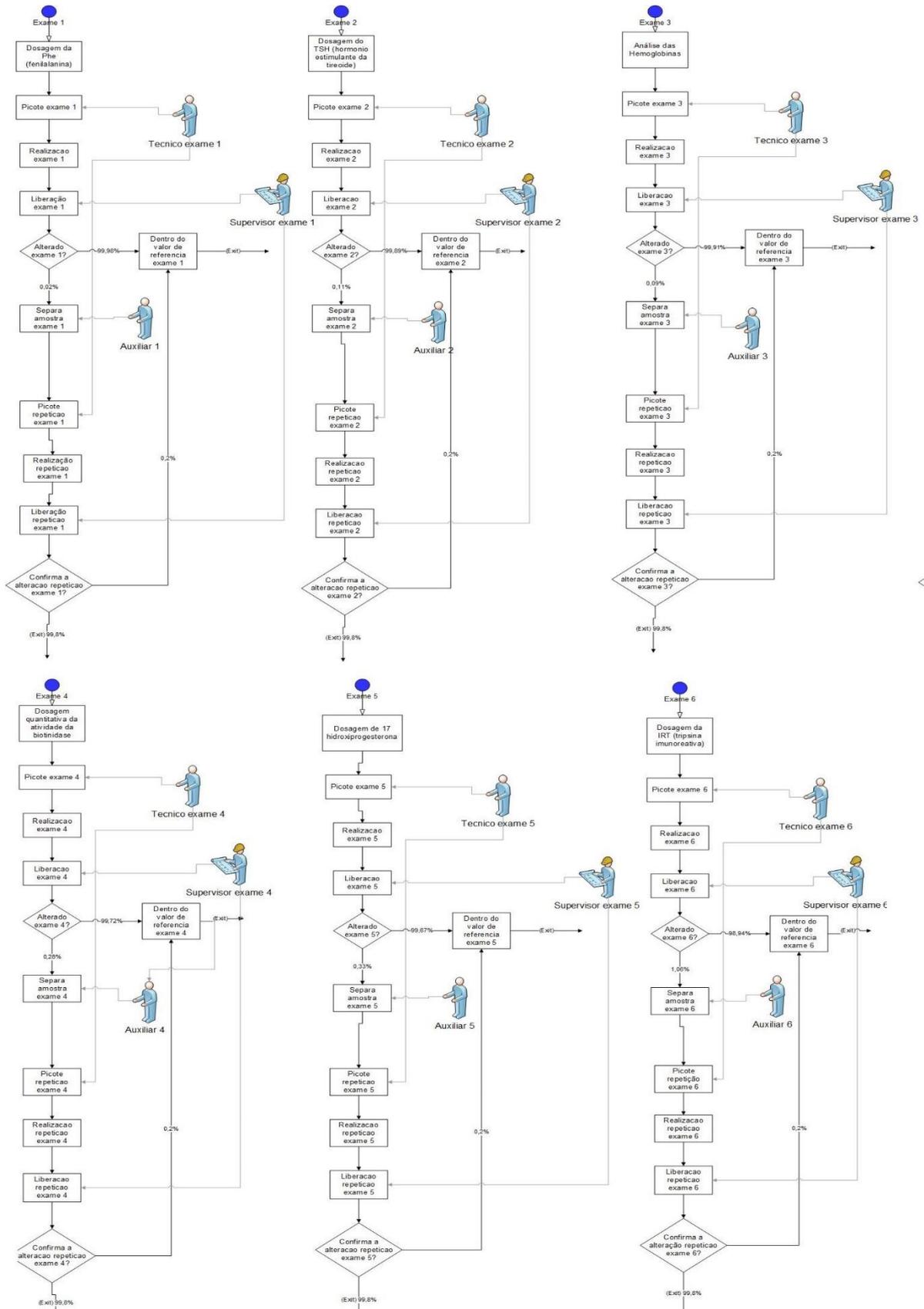


Figura 5 - Fluxo do processo operacional do laboratório de triagem neonatal

Fonte: Elaborador pelos autores, 2017.

As quantidades e o intervalo de tempo entre as entradas de todas as entidades (exame 1, exame 2, exame 3, exame 4, exame 5, exame 6), utilizadas para realização da simulação do processo do Laboratório de Triagem Neonatal, por meio de simulação por eventos discretos, foi utilizado um dia de intervalo com a quantidade de E(636) - Distribuição exponencial. A tabela 1 contém os dados de duração de cada atividade utilizada no modelo de simulação. Os dados considerados foram coletados no Programa Estadual de Triagem Neonatal do Estado de Minas Gerais.

Tabela 1
Dados utilizados para simulação

Atividade	Duração da Atividade (dia)	Distribuição de probabilidade
Dosagem da Phe (fenilalanina)	0	
Picote do exame 1	E(0,000383)	Exponencial
Realização do exame 1	0,000345304	
Alterado o exame 1?	0	
Separa a amostra do exame 1	1,928466E-05	
Dentro do valor de referência do exame 1	0	
Liberção do exame 1	L(0,000253; 0,000319)	Log. normal
Picote de repetição do exame 1	E(0,000383)	Exponencial
Realização de repetição do exame 1	0,000345304	
Confirma alteração de repetição do exame 1?	L(0,000253; 0,000319)	Log. normal
Liberção de repetição do exame 1	L(0,000253; 0,000319)	Log. normal
Dosagem do TSH (hormônio estimulante da tireóide)	0	
Picote exame 2	E(0,00038)	Exponencial
Realização do exame 2	0,000690608	
Alterado o exame 2?	0	
Separa a amostra do exame 2	1,928466E-05	
Dentro do valor de referência do exame 2	0	
Liberção do exame 2	E(0,000233)	Exponencial
Picote de repetição do exame 2	E(0,00038)	Exponencial
Realização de repetição do exame 2	0,000690608	
Confirma alteração de repetição do exame 2?	0	
Liberção de repetição do exame 2	E(0,000233)	Exponencial
Análise das Hemoglobinas	0	
Picote do exame 3	E(0,000617)	Exponencial
Realização do exame 3	0,000548246	
Alterado do exame 3?	0	
Dentro do valor de referência do exame 3	0	

Separa a amostra do exame 3	1,928466E-05	
Liberação do exame 3	L(0,00106; 0,00128)	Log. normal

Tabela 1
Dados utilizados para simulação

(Continuação)

Atividade	Duração da Atividade (dia)	Distribuição de probabilidade
Picote de repetição do exame 3	E(0,000617)	Exponencial
Realização de repetição do exame 3	0,000548246	
Confirma alteração de repetição do exame 3?	0	
Liberação de repetição do exame 3	E(0,000233)	Exponencial
Dosagem quantitativa da atividade da biotinidase	0	
Picote do exame 4	G(0,000295; 1,3)	Gamma
Realização do exame 4	0,000460405	
Alterado o exame 4?	0	
Separa a amostra do exame 4	1,928466E-05	
Dentro do valor de referência do exame 4	0	
Liberação do exame 4	L(0,000345; 0,000466)	Log. normal
Picote de repetição do exame 4	G(0,000295; 1,3)	Gamma
Realização de repetição do exame 4	0,000460405	
Confirma alteração de repetição do exame 4?	0	
Liberação de repetição do exame 4	L(0,000345; 0,000466)	Log. normal
Dosagem de 17 hidroxiprogesterona	0	
Picote exame 5	E(0,000383)	Exponencial
Realização do exame 5	0,000575506	
Alterado o exame 5?	0	
Separa a amostra do exame 5	1,928466E-05	
Dentro do valor de referência do exame 5	0	
Liberação do exame 5	L(0,00023; 0,000265)	Log. normal
Picote de repetição do exame 5	E(0,000383)	Exponencial
Realização de repetição do exame 5	0,000575506	
Confirma alteração de repetição do exame 5?	0	
Liberação de repetição do exame 5	L(0,00023; 0,000265)	
Dosagem da IRT (tripsina imunoreativa)	0	
Picote do exame 6	E(0,000625)	Exponencial
Realização do exame 6	0,000460405	
Alterado o exame 6?	0	
Separa a amostra do exame 6	1,928466E-05	
Dentro do valor de referência do exame 6	0	
Liberação do exame 6	L(0,000228; 0,000275)	Log. normal
Picote de repetição do exame 6	E(0,000625)	Exponencial
Realização de repetição do exame 6	0,000460405	
Confirma alteração da repetição do exame 6?	0	
Liberação de repetição de exame 6	L(0,000228; 0,000275)	Log. Normal

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

5.94.2 Validação do modelo de simulação por eventos discretos

A Tabela 2 contém os dados reais, obtidos na base de dados do Programa de Triagem Neonatal do Estado de Minas Gerais.

A comparação entre os resultados obtidos por meio de simulação de eventos discretos e os dados reais dos principais elementos do processo de triagem neonatal encontra-se na Tabela 3.

Tabela 2
Dados reais da base de dados do Programa de Triagem Neonatal

Entidades	Média	Desvio padrão	Intervalo confiança – 95%	
			Limite Inferior	Limite Superior
Exame 1	0,56	0,35	0,45	0,67
Exame 2	0,57	0,33	0,47	0,68
Exame 3	0,60	0,34	0,49	0,71
Exame 4	0,58	0,37	0,46	0,70
Exame 5	0,53	0,35	0,42	0,64
Exame 6	0,50	0,42	0,37	0,63

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Tabela 3
Dados simulados e comparação com os dados reais

Entidade	Média	Desvio Padrão	Intervalo confiança – 95%		Erro Relativo (%)
			Limite Inferior	Limite Superior	
Exame 1	0,54	0,15	0,47	0,61	-3,95
Exame 2	0,58	0,19	0,50	0,66	0,99
Exame 3	0,60	0,08	0,56	0,64	-0,18
Exame 4	0,56	0,17	0,49	0,63	-3,35
Exame 5	0,54	0,15	0,47	0,61	1,39
Exame 6	0,51	0,12	0,46	0,56	1,95

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Observa-se, na Tabela 3, que a diferença percentual máxima entre os resultados simulados e os dados reais foi igual a 3,95 %, que pode ser considerada aceitável, devido à natureza do problema que está sendo analisado.

Para facilitar a análise dos dados observados na Tabela 3, foi apresentado na Figura 6, a comparação dos dados reais com os dados simulados.

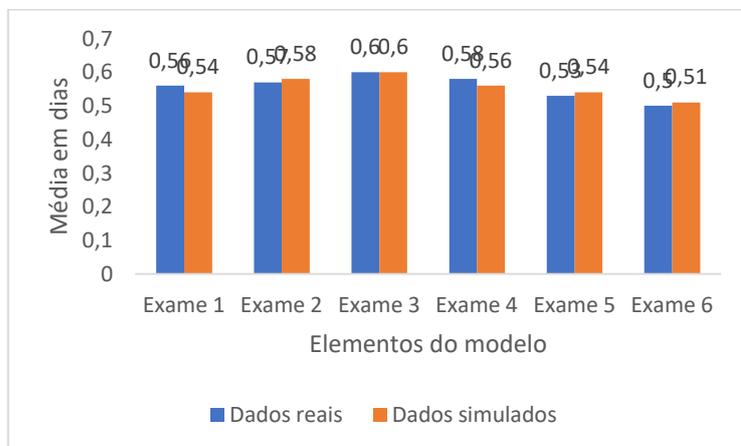


Figura 6 – Comparação dos valores reais com os valores simulados

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

5 Conclusões

O processo operacional realizado no laboratório do programa de triagem neonatal, é um problema que envolve muitas variáveis aleatórias. Apesar da complexidade envolvida, foi possível desenvolver um modelo de predição utilizando simulação por eventos discretos com auxílio da ferramenta computacional *ProModel*.

O modelo de simulação proposto nesse trabalho permitiu analisar, por exemplo, o grau de influência sobre as filas no processo de liberação dos resultados dos exames, causado pela ausência (ou falta) de um técnico do laboratório. Este modelo possibilitou, também, predizer a relação entre a parada de um determinado equipamento laboratorial e o impacto no tempo final de processamento dos exames.

Os modelos aqui apresentado também permitem aos gestores a definição de cenários diferentes, de acordo com a situação atual ou de sua conveniência. As decisões ou intervenções gerenciais podem ser testadas com a realização de simulações e os resultados obtidos permitem analisar possíveis alterações no fluxo operacional real.

A análise dos relatórios possibilitou o questionamento sobre muitos problemas nos processos operacionais administrativos que, normalmente, são raramente percebidos ou difíceis de serem quantificados.

A experiência prática no desenvolvimento deste modelo de simulação, para o Laboratório do Programa de Triagem Neonatal (PTN), foi disponibilizar aos gestores uma ferramenta capaz de realizar previsões e condução de experimentos, sem a necessidade de interferir na produtividade dos recursos humanos do sistema, e constitui a principal contribuição deste trabalho.

Referências

- Balci, O. (2003). Verification, validation, and certification of modeling and simulation applications: verification, validation, and certification of modeling and simulation applications. *Proceedings of the Winter Simulation Conference: driving innovation*, New Orleans, LA, USA, 35.
- Banks, J. (1988). *Handbook of simulation*. Atlanta: John Wiley & Sons.
- Benson, D. (1997). Simulation modeling and optimization using ProModel. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA, 29.
- Borshchev, A. & Filippov, A. (2004). From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: reasons, techniques, tools. *Proceedings of the International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford, England, 22.
- Bratley, P., Fox, B. L. & Schrage, L. E. (2011). *A guide to simulation*. New York: Springer Science & Business Media.
- Brito, T. B. & Botter, R. C. (2014). Uma comparação conceitual entre as metodologias de simulação discreta e a contínua como elemento impulsionador da simulação híbrida. *PODES: Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 6(2), 202-225.
- Coelho, J. J. S. (2013). *Modelo de dinâmica de sistemas para apoio a decisões no processo de inspeção de software*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.
- Duarte, R. N. (2003). *Simulação computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá de Minas Gerais, Itajubá, MG, Brasil.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. & Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI Magazine*, 17(3), 37-54.
- Fernandes, C. A., Silva, L. C., Pereira, J. O. & Yamaguchi, M. M. (2006). Simulação da dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(1), 166-170.
- Freitas Filho, P. J. (2008). *Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena*. Florianópolis: Visual Books.
- Harrell, C. R., Ghosh, B. K. & Bowden, R. (2002). *Simulação otimizando os sistemas*. São Paulo: Belge IMAM.
- Kelton, W. D. & Sadowski, R. (1998). *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill.
- Kopacek, C., Castro, S. M., Chapper, M., Amorim, L. B., Lüdtke, C. & Vargas, P. (2015). Evolução e funcionamento do Programa Nacional de Triagem Neonatal no Rio Grande do Sul de 2001 a 2015. *Boletim Científico de Pediatria*, 4(3), 70-74.
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis*. Boston: McGraw Hill.
- Law, A. M. (2007). *Simulation modeling & analysis* (4. ed.). Boston: McGraw-Hill.

- Ministério da Saúde. (2004). *Manual de normas técnicas e rotinas operacionais do Programa Nacional de Triagem Neonatal*. (2. Ed.). Brasília: Ministério da Saúde.
- Oliveira, A. G. (1998). *Data warehouse: conceitos e soluções*. Florianópolis: Advanced.
- Paragon Decision Science (2002). *Introdução à Simulação com ARENA*. São Paulo: Paragon.
- Portaria nº 822, de 06 de junho de 2001 (2001). Institui, no âmbito do Sistema Único de Saúde, o Programa Nacional de Triagem Neonatal / PNTN. Ministério da Saúde. Recuperado em 29 ago. 2015 de http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2001/prt0822_06_06_2001.html
- Prado, D. S. (2008). *Usando o Arena em simulação*. (3. ed.). Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços.
- Robinson, S. (2008). Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*, 59(3), 278-290.
- Sakurada, N. & Miyake, D. I. (2009). Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão & Produção*, 16(1), 25-43.
- Strack, J. (1984). *GPSS: Modelagem e simulação de sistema*. Rio de Janeiro: LTC.
- Sweetser, E. (1999). Compositionality and blending: semantic composition in a cognitively realistic framework. In: T. Janssen & G. Redeker (Ed.). *Cognitive linguistics: foundations, scope, and methodology*. (pp. 129-162). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Medicina. Núcleo de Ações e Pesquisa em Apoio Diagnóstico. (2017). *Programa de triagem neonatal de Minas Gerais*. Belo Horizonte: NUPAD. Recuperado em 05 maio 2017 de <http://www.nupad.medicina.ufmg.br/programa-e-acoas/programa-de-triagem-neonatal-de-minas-gerais/>.