

Artigo Original

Recebido em 10/04/2006 e aceito em 27/12/2006

**Simulação por eventos
discretos aplicada à otimização
do atendimento em uma clínica
de mamografia**

*Discrete-event simulation models for
patient scheduling optimization in a
mammography clinic*

**Fernando Cesar Coelli,
Rodrigo Bouyer Ferreira,
Renan Moritz Varnier Rodrigues
de Almeida*,
Wagner Coelho Albuquerque Pereira**

Programa de Engenharia Biomédica - COPPE/UFRJ
Caixa Postal 68510
Cidade Universitária, Rio de Janeiro,
RJ, Brasil Cep.: 21.941-972
e-mail: renan@peb.ufrj.br

*autor para correspondência

Resumo

A simulação por eventos discretos vem sendo utilizada com sucesso na área de Saúde, pois permite a avaliação de cenários alternativos de forma rápida e mínimo custo. Um modelo de clínica de mamografia foi construído a partir de simulação por eventos discretos. O programa utilizado foi o *MedModel*, versão 6.0, da Promodel Corporation (Harrel *et al.*, 2002). O objetivo do trabalho foi analisar o funcionamento da clínica sob diferentes configurações para avaliação da capacidade instalada e apoio na reorganização do atendimento de pacientes. O modelo proposto foi baseado em informações obtidas em uma clínica de mamografia do Instituto Nacional do Câncer (INCa), na cidade do Rio de Janeiro. Foram coletadas informações relativas à capacidade de atendimento da clínica, número de pacientes atendidos por dia, número de profissionais e *layout* da clínica. Três configurações foram simuladas, mantendo-se a estrutura básica (um mamógrafo e um médico) e variando-se somente o número de técnicos de mamografia. O melhor desempenho foi obtido com a configuração 2 (dois técnicos), com uma taxa de chegada de pacientes representada por uma distribuição exponencial de média 29 minutos, atendimento de 15 pacientes/dia, com média de 78 minutos por paciente. A clínica real tem três técnicos e atende 15 pacientes por dia, sem marcação de horário. O modelo, apesar de simples, já indicou alguns resultados importantes, como por exemplo: quinze pacientes podem ser atendidos com dois técnicos; organização da chegada de pacientes por meio de agendamento; possibilidade de taxa de repetição de até 25% (5% ou menos, recomendável pelo *American College of Radiology*), sem que se transfiram pacientes para outros dias. Esses resultados iniciais podem ser alvos de estudos que incluam custo/benefício.

Palavras-chave: Capacidade instalada, Eventos-discretos, Mamografia, Simulação, Tecnologia médico-hospitalar.

Abstract

A discrete-events model was implemented to simulate a mammography clinic routine. The objective was to analyze the clinic functioning under different configurations to explore its installed capacity, identify possible obstacles and propose actions to optimize the clinic routine. The methodology consisted in implementing the model based on information collected at the Cancer National Institute (INCa), localized in Rio de Janeiro. The collected information includes number of patients per day, personnel, clinic functioning routine and clinic layout. Three simulation sets [build in *Med-Model* software, Promodel Corporation (Harrel *et al.*, 2002)] were evaluated, each one considering three possible configurations. Each configuration has one mammographic equipment, one medical doctor but a different number of technicians (one, two and three). The simulation indicated that a patient's arrival rate of 29 minutes resulted in the smallest patient's average-time inside the clinic. In terms of cost, the configuration 2 (two technicians) showed the best global result, once its performance indexes are close to the highest capacity configuration (configuration 3), but with one technician less. The model has proved to be a useful tool as a first approach to mammography clinic assessment.

Keywords: Discrete-events, Installed capacity, Mammography, Medical-hospital technology, Simulation.

Extended Abstract

Introduction

Research on the optimization of health systems performance has experienced great advances with the introduction of computational simulation technologies (Nance, 1993). In the health area, optimization can allow, e.g. the correct dimensioning of staff size and equipment numbers (Groothuis et al., 2001). In radiological clinics, known by their high infra-structure costs, this tool can be used to the optimization of radiological technology use and maintenance cycles (Centeno et al., 2000, Coelli et al., 2004, Azadivar and Shu, 1998).

The objective of the present work was to develop a mammography clinic discrete-event model in order to support its patient flow analysis and optimization.

The Model

Simulation refers to a model built in order to determine the response of a system to changes in its internal structure and inputs (Law and Kelton, 2000). Usually, it consists of a simplified representation of a dynamic process deemed too complex for direct analysis (Fetter and Thompson, 1965). Thus, the simulation model is smaller, cheaper and simpler, and its purpose is to analyze and understand the behavior of a system as a function of actions and alternative scenarios (Dexter et al., 2003).

The National Cancer Institute of Brazil (INCA) is the agency of the Ministry of Health entrusted with cancer control programs in the country. Five units of the Institute are located in the city of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro State (Brazil). The unit 3 is specialized in breast cancer treatment and diagnostic. This unit has a high patient flow, offering both in-patient and out-patient services. Its mammography clinic consists of a changing room, a mammography viewing room, a staff lounge, a dark camera room and two examination rooms with one mammography machine each (Figure 1). The staff consists of three technicians and two medical radiologists.

The facility system patient flow can be thus described: a patient arrives to the clinic and waits to be called by a technician at an entrance room. The patient is then led to a changing room, and, afterwards, taken to the mammography room, where the exam is performed. At this time, other entity appears in the system, the "X-ray film." A technician takes the film to the dark camera, and, afterwards, places it in a box in the mammography viewing room. At the same time, the patient goes back to the changing room and waits the mammography inspection by a doctor. In case an exam repetition is deemed necessary, the patient is again taken to the exam room. If the mammography is considered satisfactory, the patient is discharged. The mammography is then stored in a film deposit.

Materials and Methods

The model was implemented in MedModel software 6.0 (Promodel Corp.). The parameter values (Table 1) for the present model were obtained by field measurements, interviews with managing personnel or from the literature. The parameters waiting room capacity, changing room capacity, dark camera capacity and mammography viewing room capacity were assigned **undefined** values, meaning that they may take any value without interfering with the model results. The capacity of the mammography room was assigned value one, since only one patient is attended each time. Average of patients/day is the expected number of patients per day, in this case, 15. Working time of the clinic is the time during which the clinic locations are available to receive entities. Patient arrival distribution is the patient rate of arrival, assumed as exponential with arrivals varying between every 15 and 35 minutes.

Three simulation cycles were developed for the model clinic, with each cycle consisting of 100 simulations. Analyzed parameters included the average time (min) from patient arrival until discharge, the blocked time (time a patient was in wait for a resource (e.g. an exam room), physician utilization (PU), technical utilization (TU) and mammography equipment utilization (EU), the percent of equipment operation time (OP), the percent

of available equipment time (DI), the waiting time until use of an equipment (ES) and the number of patients that could not be attended in a specific day (remaining patients - RE). The first cycle tried to determine the best patient arrival rate, that is, the rate that would allow for the minimum stay-time for a patient inside the system for a certain configuration. Three configurations for clinic were simulated: configuration 1, with one doctor and one mammography technician; configuration 2 with one doctor and two technicians and configuration 3, with one doctor and three technicians. Each configuration had arrival rates following exponential distributions with averages between 15 and 35 min in 2 min increments. In the second simulation group, assuming the arrival rates optimized as above, the model tried to determine what would be the maximum number of patients that would still be possible to attend, considering the existing clinic capacity. Three configurations were simulated, increasing the number of patients/day and using as stop criterion the point in which excluded patients were detected, that is, the point when the system was saturated (unable to receive new patients). In the third group, exam repeat rates were used to estimate the impact of the equipment operation conditions on the system. In this case, the simulation also used "optimum" arrival rates obtained as before.

Results

Table 3 shows the impact of patient arrivals rate in the clinic configurations. The shorter time inside the clinic is verified with arrival rate in intervals of 29 minutes [E(29)]. Table 4 shows the patient average time in the system (minutes) as a function of the increase in the number of patient arrivals. A considerable increase in the patient's length of stay could be verified when patient arrivals rose above 15 patients/day (configurations 1 and 2) and 17 patients/day (configuration 3). Beyond this point, some patients could not be attended (excluded patients).

Table 5 shows the impact of the exam repeat rates over the patient's length of stay for all configurations, the rate of excluded patients and the rates of personnel (physicians and technicians) occupation. The largest length of stay takes place in configuration 1, which also has the largest rate of personnel occupation. Configuration 1 shows patient block time 40% higher than the other configurations with exam repeat rate of 20%.

Discussion and Conclusion

Although referring to a hypothetical simulation, useful information can be obtained from such modeling exercises.

According to the first group of simulations, the shorter patient length of stay was obtained when the patient's arrival rate followed an exponential distribution with an average of 29 minutes. Receiving patients at this rate, the time inside clinic is the shortest.

In the second group, the installed capacity was evaluated. It could be seen that, keeping the patient's arrival rate of 29 minutes, configurations 1 and 2 showed the maximum attendance capacity of 15 patients/day and while configuration 3 resulted in 17 patients/day.

In the third group, the repeat-exam rate impact was evaluated. This impact is progressively critical, because it increases patient average time inside clinic, as well as blocked time percentage and personnel utilization. It was shown that after 25% repeat rate the average time inside the clinic doubles and performance decreases rapidly.

A global analysis of the simulation results indicated two feasible configurations, 2 and 3. In terms of cost, the second configuration (two technicians) showed the best global result, once its performance indexes are close to the highest capacity configuration (configuration 3), but with one technician less. In terms of capacity configuration 3 was able to attend 17 patients/day, having the smallest average time inside clinic for all repeat rates tested.

The general conclusion to be drawn from these simulations is that the actual capacity of the clinics is over-dimensioned for its present demand. Thus, it can be concluded that the computer simulation showed to be a useful tool to analysis standard clinic.

Introdução

A pesquisa voltada para otimização de Sistemas de Saúde tem experimentado importantes avanços com a utilização da simulação computacional (Nance, 1993). Suas aplicações mostram que um melhor planejamento pode ser alcançado utilizando essa ferramenta (Dean *et al.*, 1999, Paul *et al.*, 1998, Samaha e Armel, 2003). Na área hospitalar, a otimização pode trazer impactos positivos ao setor administrativo e operacional, como, por exemplo, permitir o correto dimensionamento do quadro profissional e do número ideal de equipamentos (Groothuis *et al.*, 2001). Já os pacientes beneficiam-se, por exemplo, da redução do tempo de espera na clínica (ou no setor), sem perda de qualidade do serviço.

Em clínicas de radiologia, conhecidas pelo volume de investimentos em infra-estrutura, essa ferramenta pode ser usada para otimização do uso da tecnologia (Centeno *et al.*, 2000). Por meio de estudos de simulação pode-se, por exemplo, estimar a capacidade instalada de uma clínica a ser construída. A simulação também pode ser útil para estimar o impacto da indisponibilidade dos ciclos de manutenção (preventiva e/ou corretiva) dos equipamentos usados no ambiente hospitalar (Azadivar e Shu, 1998, Coelli *et al.*, 2004).

Em clínicas de mamografia, por exemplo, a rotina de funcionamento é função do número de profissionais, número de equipamentos, capacidade das salas e também dos processos inerentes a cada tarefa do atendimento. Além disso, a infra-estrutura desses serviços deve obedecer aos critérios normativos de funcionamento e padrões pré-determinados em lei (Ministério da Saúde, 1998).

Este trabalho tem como objetivo propor e analisar um modelo por eventos discretos, do funcionamento de uma clínica de mamografia, para apoio na reorganização do atendimento de pacientes e avaliação da capacidade instalada, aceitando-se que os recursos tecnológicos estejam dentro dos padrões normativos. Utiliza-se uma clínica de mamografia de um hospital público da cidade do Rio de Janeiro como fonte de informações básicas para essa modelagem.

Simulação Computacional

A simulação é um processo de experimentação que utiliza um modelo suficientemente detalhado de um sistema para determinar como este responderá às mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno (Cassandras e Lafortune, 1999). Geralmente o termo simulação refere-se à representação de um processo dinâmico ou sistema de forma a permitir sua

análise, por considerar o problema atual muito grande e/ou complexo (Harrel *et al.*, 2002).

Assim, a utilização de modelos em simulação é, em geral, mais simples e barata que a simulação com o sistema real. Em muitos casos seu propósito é analisar e entender o comportamento do sistema em função de cenários alternativos (Law e Kelton, 2000). Portanto, uma vantagem importante da simulação é a flexibilidade de avaliar situações, pelo mesmo modelo, pois a avaliação de vários cenários “reais” levaria muito mais tempo e seria excessivamente dispendiosa.

Em simulação por eventos discretos, as variáveis devem ser equacionadas em um modelo, onde os objetivos são otimização do uso da tecnologia e o atendimento de pacientes, considerando que todos aspectos legais sejam cumpridos. Simulação por eventos discretos quer dizer que uma determinada variável sofre variações discretas em seu valor. Simulação dessa natureza apresenta-se como uma importante ferramenta para o levantamento da contribuição individual de cada parcela no processo (Dexter *et al.*, 2003, Fetter e Thompson, 1965), caracterizando estados que descrevem o processo com instâncias observáveis através do modelo.

O Modelo de Clínica de Mamografia

O modelo baseou-se em informações obtidas a partir de visitas e entrevistas com os funcionários em uma clínica de mamografia do Instituto Nacional do Câncer (INCa), na cidade do Rio de Janeiro (apenas a velocidade de trânsito foi referenciada na literatura).

A abordagem aqui adotada é orientada ao paciente, ou seja, estes são considerados as elementos principais do modelo, em torno dos quais atividades, eventos e processos são organizados.

No modelo de simulação por eventos discretos construído a partir da plataforma *MedModel*, os elementos são divididos em grupos chamados de *recursos*, *entidades*, *locais*, *processos* e *atributos*. No presente caso, os “recursos” são os técnicos de mamografia e médicos, as “entidades” são os pacientes e filmes radiografados, “locais” são as salas da clínica e os “processos” são as rotinas entre locais, recursos e entidades. Os “atributos” são os possíveis estados das entidades, por exemplo: bom ou ruim. Os períodos de tempo de cada parte do processo são colocados nas programações de rotinas do modelo.

As trajetórias das entidades (paciente e filme) podem ser vistas no fluxograma da Figura 1.

Seguindo a Figura 1, o fluxo de atendimento pode ser descrito como: paciente chega à clínica e espera

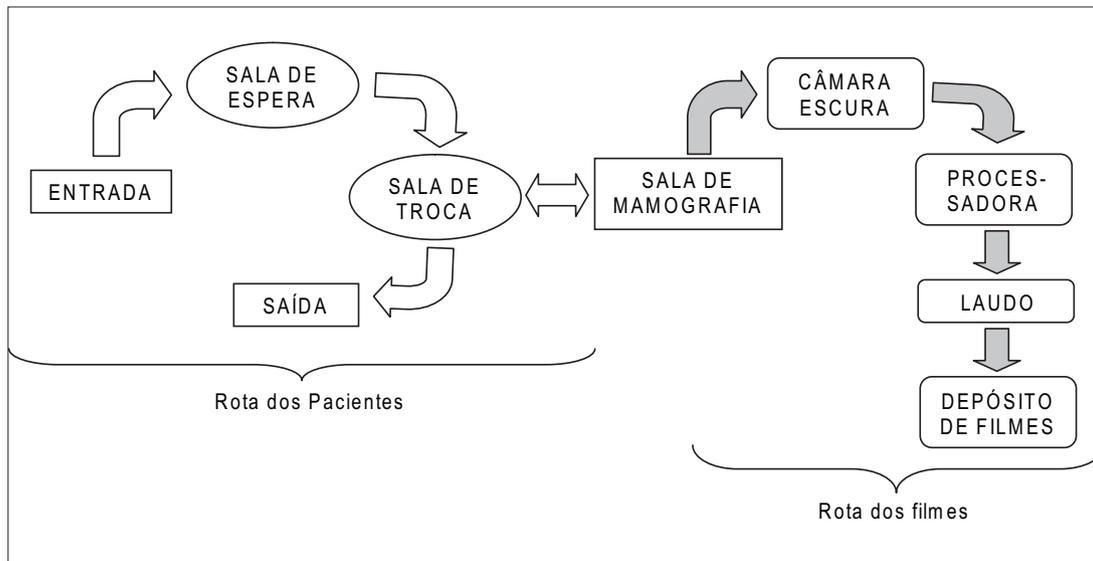


Figura 1. Fluxograma da trajetória das entidades (pacientes e filmes) na Clínica.

Figure 1. Clinic flow chart of entities (patients and films) trajectories.

para ser chamado pelo técnico junto à porta da entrada. Ao ser chamado, é encaminhado para sala de troca onde, após vestir trajes apropriados, também aguarda a vez de ser encaminhado para a sala de mamografia. Caso esteja disponível, o técnico leva o paciente para a sala de mamografia onde o exame é realizado. Neste momento, outra entidade aparece no sistema, o “filme radiografado”. O técnico leva o filme para a câmara escura para revelação. O filme é, em seguida, colocado na caixa coletora, na sala de laudos. O paciente volta para a sala de troca, onde aguarda a inspeção da mamografia pelo médico. Caso necessite repetir o exame, a paciente é novamente conduzida para sala de mamografia. Se a mamografia for considerada satisfatória, o paciente é liberado, levando consigo o laudo. A mamografia fica armazenada no depósito de filmes, para estudos futuros.

A liberação do paciente está condicionada à aprovação do médico. Depois de realizado o exame, o prontuário do paciente é totalmente preenchido e uma cópia é enviada para o setor solicitante e a outra segue com o paciente.

Metodologia

O modelo foi desenvolvido utilizando o pacote *Med-Model*, versão 6.0 da *ProModel Corporation*. Apesar de existirem vários *softwares* de simulação, o *MedModel* foi escolhido devido ao seu custo, capacidade de interação com outros aplicativos e facilidade de apresentação de resultados.

O processo de modelagem deste trabalho segue as etapas sugeridas por Law e Kelton (2000), onde os passos são planejamento do estudo, coleta de dados e definição do modelo, construção do modelo computacional, validação do modelo, experimentação (propostas e execução), análise de dados de saída, documentação e implementação.

Como dito, a clínica é composta de sala de espera, de troca, laudos, mamografia e câmara escura. A distribuição física da clínica pode ser visualizada na Figura 2.

A Figura 2 mostra, além do *layout* da clínica, um painel com os valores de filmes no depósito (total de filmes armazenados na clínica), filmes utilizados, filmes repetidos e pacientes atendidos. Esses valores são úteis para e avaliação instantânea do modelo durante seu processo de desenvolvimento. O modelo utiliza distribuições de probabilidade para a aceitação do filme radiografado.

Os parâmetros de entrada do modelo podem ser vistos na Tabela 1.

Para o desenvolvimento de simulação computacional é necessário atribuir valores aos parâmetros de entrada do modelo. Conforme mencionado anteriormente, todos os valores dos parâmetros da Tabela 1 foram coletados na clínica por entrevistas, exceto a *Velocidade de trânsito*. Para os parâmetros *Capacidade da Sala de Espera*, *Capacidade Sala de Troca*, *Capacidade da Câmara escura*, *Capacidade da Sala de Laudos*, que são relativos às capacidades destes locais, foi atribuído

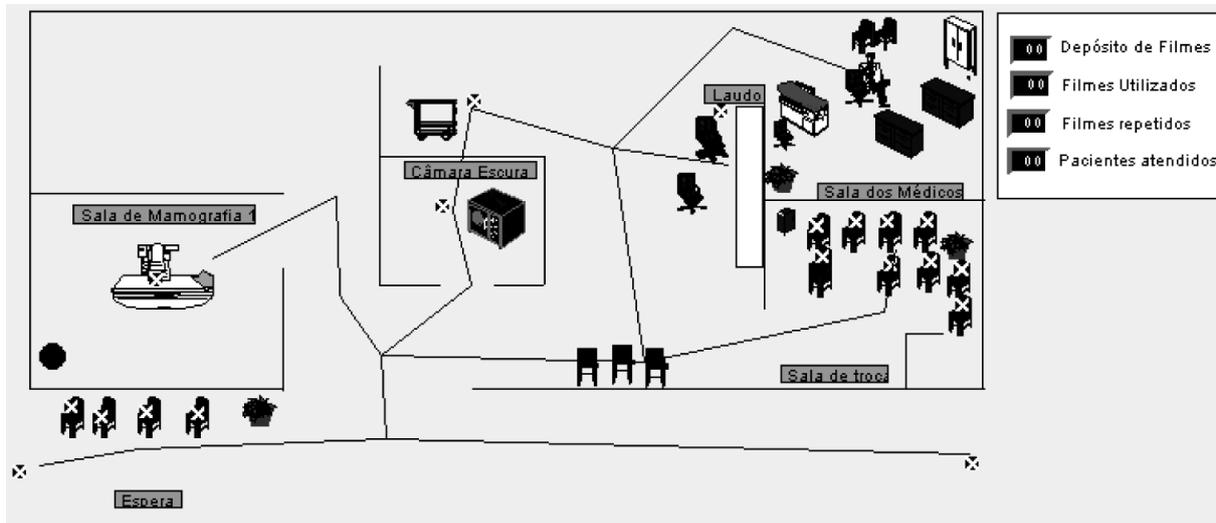


Figura 2. Modelo de Layout da Clínica de Mamografia.
Figure 2. Layout model for mammographic clinic.

valor infinito, indicando que há uma elevada capacidade destes locais e que não são limitantes para funcionamento do modelo. É uma possibilidade existente no *software* para que este parâmetro não interfira no andamento da simulação. Já o parâmetro *Capacidade da Sala de Mamografia* precisa ser definido, ou seja, o local onde se encontra o equipamento de mamografia só pode comportar um único paciente por vez. A *Média de Pacientes/Dia* é o número de pacientes programados para serem atendidos por dia, que, neste caso, é 15. O *Expediente da Clínica* é o tempo que os locais ficarão disponíveis para receber as entidades e o tempo necessário para os recursos trabalharem. *Pausas* são paradas

nas quais os recursos e locais ficam indisponíveis para uso (neste caso, paradas para o almoço de uma hora). Os parâmetros *Tempos na Sala de Espera*, *Tempo na Sala de Troca* e *Tempo na Sala de Mamografia* são os valores médios de tempo que o paciente permanece ou transita dentro de cada local. Esses valores foram obtidos por entrevistas com os profissionais da clínica. A *Distribuição de entrada de Pacientes* é a taxa de chegada de pacientes no modelo. Foram utilizadas distribuições exponenciais com médias que variaram entre 15 a 35 minutos para chegadas de pacientes. *Velocidade de trânsito* é a velocidade com que recursos e entidades se movem dentro do modelo. O valor de 38 m/min ado-

Tabela 1. Parâmetros do Modelo. **Table 1.** Model Parameters.

Parâmetros do Modelo	Valores
Capacidade da fila Sala de Espera	Infinito
Capacidade da fila Sala de Troca	Infinito
Capacidade da fila Câmara escura	Infinito
Capacidade da fila Sala de Laudos	Infinito
Capacidade da fila Sala de Mamografia	01 lugar
Média de Pacientes/Dia	13 a 18 (detalhes Tabela 2)
Expediente da Clínica	08:00 às 18:00 horas
Pausas (intervalo para almoço)	12:00 às 13:00 horas
Tempo na Sala de Espera	48 segundos
Tempo na Sala de Troca	N (3,1) minutos
Tempo na Sala de Mamografia	N (20,2) minutos
Distribuição de entrada de Pacientes	Exponencial
Velocidade de trânsito	38 metros/minuto
Taxa de repetição de exames	0% 5% 10% 15% 20% 25% (ver Tabela 5)
Número de Técnicos em mamografia	1 a 3 (detalhes Tabela 2)
Número de médicos	1
Período de Simulação	1 semana (segunda a sexta-feira)

tado neste trabalho (velocidade média de uma pessoa caminhando) segue a referência do *MedModel User Guide* (Promodel, 2002). A *Taxa de repetição de exames* é o valor percentual de exames que são repetidos em relação ao total de exames. *Período de Simulação* é o período de tempo em que o modelo executa os processos (neste caso, uma semana, excluindo-se sábado e domingo).

As informações explicitadas anteriormente e utilizadas para construção do modelo da clínica são resultado de pesquisa sistemática de coleta de dados durante um mês. Os parâmetros relacionados ao tempo de espera foram obtidos pela medição de tempo e validação empírica baseada na experiência dos funcionários. Os outros parâmetros foram obtidos por formulários de atendimento de pacientes e documentos internos de funcionamento da clínica.

A Tabela 2 apresenta os três conjuntos de simulações, cada um com três configurações onde se varia o número de técnicos e/ou de pacientes. Cada conjunto teve um objetivo específico.

O primeiro conjunto de simulações (Tabela 2) teve como propósito determinar qual a taxa de chegada mais adequada para que o paciente permaneça menos tempo no sistema, variando o número de técnicos de mamografia. O número de pacientes por dia é fixado em 15 (valor usado na clínica). Três configurações do modelo foram simuladas. *Configuração 1* com um

médico e 1 técnico de mamografia; *configuração 2* com um médico e dois técnicos e *configuração 3*, com um médico e três técnicos. Nesta configuração não há repetição de exames. Foi obtida uma taxa ótima de chegada de pacientes (que é o tempo médio entre a chegada de dois pacientes) para cada configuração. Foi observado o tempo de permanência (TP) no sistema, que é a média de tempo (em minutos) desde a chegada do paciente na clínica até sua saída. Além do TP, foram observados o tempo bloqueado (TB), a utilização do médico (UM), a utilização do técnico (UT) e a utilização do equipamento de mamografia. Tempo bloqueado é o tempo que o paciente ficou parado esperando pela liberação de uma sala ou um profissional.

No segundo conjunto, o modelo conta com a taxa de chegada de pacientes otimizada pelo primeiro conjunto de simulações e avalia a capacidade instalada para cada configuração para atendimento de um número crescente de pacientes/dia. Além do tempo de permanência do paciente (TP), foram observados o tempo bloqueado do paciente (TB), o percentual do tempo em que o equipamento ficou em operação (OP), o percentual de tempo que o equipamento ficou disponível para uso (DI), o percentual de tempo que o equipamento ficou a espera de técnicos e pacientes (ES) e o número de pacientes remanescentes (RE). As configurações foram simuladas até apresentar pacien-

Tabela 2. Conjunto de simulações realizadas e respectivas configurações. **Table 2.** Simulation groups and respective configurations.

Conjuntos	Configurações	Parâmetros de entrada variáveis	Parâmetros de saída analisados
Primeiro	1	1 técnico, 15 pacientes/dia, sem índice de repetição	Tempo de permanência - TP
	2	2 técnicos, 15 pacientes/dia, sem índice de repetição	Tempo bloqueado - TB Utilização do médico - UM Utilização do técnico - UT
	3	3 técnicos, 15 pacientes/dia, sem índice de repetição	Utiliz. do equipamento - EU
Segundo	1	1 técnico, 13 a 18 pacientes/dia, sem índice de repetição	Tempo de permanência - TP Tempo bloqueado - TB
	2	2 técnicos, 13 a 18 pacientes/dia, sem índice de repetição	Equipamento em Operação -OP Equipamento Disponível - DI Equipamento em Espera - ES
	3	3 técnicos, 13 a 18 pacientes/dia, sem índice de repetição	Pacientes remanescentes - RE
Terceiro	1	1 técnico, 15 pacientes/dia, com índice de repetição	Tempo de permanência - TP Tempo bloqueado - TB
	2	2 técnicos, 15 pacientes/dia, com índice de repetição	Utilização do médico - UM Utilização do técnico - UT
	3	3 técnicos, 15 pacientes/dia, com índice de repetição	Utiliz. do equipamento - UE Pacientes remanescentes - RE

tes remanescentes, ou seja, pacientes que não puderam ser atendidos dentro daquele período. Neste conjunto também não se considerou a repetição de exames.

No terceiro conjunto, o modelo conta com índices de repetição de exames, sendo mostrado seu impacto nas três configurações. O modelo foi simulado com as configurações otimizadas pelas simulações anteriores e possui taxa de chegada de 15 pacientes/dia. No modelo foram observados o tempo de permanência (TP) e o tempo bloqueado dos pacientes (TB), o percentual do tempo que o equipamento ficou em operação (OP), o percentual de tempo que o equipamento ficou disponível para uso (DI), o percentual de tempo que ficou em espera até ser usado (ES) e o número de pacientes remanescentes (RE). As configurações foram simuladas até apresentar pacientes remanescentes.

Resultados

A Tabela 3 mostra o impacto da variação da taxa de chegadas de pacientes nas configurações da clínica. Pode ser observado pelos parâmetros Tempo de

Permanência (TP) e Tempo de bloqueio (TB), que as Configurações 2 e 3 apresentaram desempenhos semelhantes para todas as taxas de chegada de pacientes (coluna 1 da Tabela 3). O menor tempo (TP) de um paciente dentro da clínica é verificado quando a taxa de chegadas é em intervalos de 29 minutos [E(29)] para as três configurações. Verificou-se também que, em geral, o tempo na sala de espera segue uma distribuição normal, conforme observado na prática.

A Tabela 4 apresenta a variação do tempo (em minutos) de permanência do paciente (TP) na clínica em função do aumento do número de chegadas de pacientes nas três configurações (coluna 1 da Tabela 4). Observa-se que começa a haver pacientes remanescentes (RE), quando se ultrapassa 15 pacientes/dia nas configurações 1 e 2, e 17 na 3.

A Tabela 5 mostra o impacto do atendimento na clínica, considerando os índices de repetição de exames. Neste modelo não é necessário supor um motivo específico para a repetição de exames. Na configuração 1, o tempo de permanência (TP) apresenta-se elevado

Tabela 3. Otimização da taxa de chegadas de pacientes na Clínica. **Table 3.** Patients arrivals rate optimizing clinic.

Taxa de Chegadas	Configuração 1					Configuração 2					Configuração 3				
	TP (min)	TB (%)	UM (%)	UT (%)	UE (%)	TP (min)	TB (%)	UM (%)	UT (%)	UE (%)	TP (min)	TB (%)	UM (%)	UT (%)	UE (%)
15	146	44	57	69	71	113	73	57	34	66	113	74	57	23	65
17	137	46	57	70	71	106	71	57	34	65	104	70	57	22	65
19	128	47	57	70	71	98	67	57	34	65	97	68	57	23	65
21	119	47	57	70	71	91	65	57	33	65	92	65	57	23	65
23	112	47	57	70	71	87	62	57	34	64	87	63	57	23	65
25	106	47	57	70	72	83	59	57	34	64	81	60	57	23	65
27	105	46	57	69	72	81	57	57	34	65	81	58	57	23	65
29	100	45	57	69	72	78	54	57	34	65	76	53	57	23	65
31	103	43	57	69	72	82	52	57	34	66	78	53	57	23	66
33	108	40	57	69	73	85	48	57	34	67	85	48	57	23	66
35	117	40	57	69	74	93	44	57	33	67	88	45	57	23	68

TP: Tempo de permanência do paciente, TB: Tempo de bloqueio do paciente, UT: Utilização do técnico, UE: Utilização do equipamento, UM: Utilização do Médico.
TP: Average time patient inside clinic, TB: Patient blocked time, UT: Technical utilization, UM: Physician utilization, UE: Equipment utilization.

Tabela 4. Avaliação da Capacidade Instalada. **Table 4.** Evaluation installed capacity.

Taxa de chegadas	Configuração 1						Configuração 2						Configuração 3					
	TP (min)	TB (%)	OP (%)	DI (%)	ES (%)	RE	TP (min)	TB (%)	OP (%)	DI (%)	ES (%)	RE	TP (min)	TB (%)	OP (%)	DI (%)	ES (%)	RE
13	88	41	46	37	15	0	70	52	46	43	9	0	70	53	47	44	9	0
14	93	44	48	33	18	0	76	54	49	39	11	0	74	53	49	38	11	0
15	100	45	49	28	22	0	78	54	51	34	14	0	76	53	51	34	14	0
16	115	48	46	21	32	2	88	55	51	29	19	2	87	54	51	29	18	0
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98	57	50	24	25	0
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	108	56	48	19	32	2

TP: Tempo de permanência do paciente, TB: Tempo de bloqueio do paciente, OP: Tempo percentual do equipamento em Operação, DI: Tempo percentual disponível, ES: Tempo percentual do equipamento em espera, RE: Número de pacientes remanescentes. TP: Average time patient inside clinic, BT: Blocked time, OP: Equipment time percentage in operation, DI: Equipment time percentage available, ES: Equipment time percentage waiting, RE: Number of remaining patients.

Tabela 5. Impacto do Índice de Rejeição. **Table 5.** Repeat rate impact.

Ind. Rep. (%)	Configuração 1						Configuração 2						Configuração 3					
	TP (min)	TB (%)	UM (%)	UT (%)	UE (%)	RE	TP (min)	TB (%)	UM (%)	UT (%)	EU (%)	RE	TP (min)	TB (%)	UM (%)	UT (%)	EU (%)	RE
0	100	45	57	69	71	0	79	54	57	34	65	0	79	54	57	34	65	0
5	114	48	59	73	76	0	87	57	60	35	69	0	88	56	60	24	68	0
10	137	53	61	75	79	0	97	59	62	37	72	0	97	60	62	24	72	0
15	159	56	64	78	85	0	105	60	65	38	76	0	109	61	65	26	76	0
20	186	61	66	81	87	1	122	64	68	40	80	0	120	65	68	27	79	0
25	222	66	68	84	90	2	131	67	70	41	82	0	138	68	70	28	83	0

TP: Tempo de permanência do paciente, TB: Tempo de bloqueio do paciente, UM: Utilização do médico, UT: Utilização do técnico, EU: Utilização do equipamento.
 TP: Average time patient inside clinic, TB: Patient blocked time, UT: Technical utilization, UM: Physician utilization, UE: Equipment utilization.

se comparado com as outras configurações. Para o mesmo índice de rejeição, por exemplo, 20%, a *configuração 1* apresenta um tempo de paciente bloqueado (113 minutos) cerca de 31% maior que as outras duas configurações (≈78 minutos em ambas).

Discussão e Conclusão

Muitos trabalhos mostram a aplicabilidade da ferramenta de simulação na área de saúde, por exemplo, Anderson (2003), Garcia *et al.* (1995), Samaha e Armel (2003). Ela pode ser usada para avaliar situações de sistemas que ainda serão implementados, otimizar sistemas já em operação e, ainda, analisar cenários alternativos (Caloba *et al.*, 2003; Hirshberg *et al.*, 1999; Winamaki e Dronzek, 2003).

Samaha e Armel (2003) realizaram um estudo em um departamento de emergência utilizando a simulação computacional. O objetivo foi avaliar as possíveis alternativas para redução do tempo de espera de pacientes. Segundo os autores, a simulação se mostrou útil para a avaliação de tempo de espera dentro do departamento de emergência.

Centeno *et al.* (2000) apresentam um estudo de otimização de um departamento de radiologia do *Jackson Memorial Hospital* nos Estados Unidos. Foram avaliados os procedimentos radiológicos sob diferentes cenários (variando-se os números de profissionais envolvidos, alterações no *layout* do departamento e acrescentando mais um dia no atendimento de pacientes). Buscou-se identificar o impacto de alterações na conduta de atendimento como aumento de salas e dias de atendimentos. Segundo os autores, a configuração com um técnico foi a de melhor relação custo-benefício.

Semelhante aos trabalhos discutidos anteriormente, este utiliza uma mesma ferramenta de modelagem (*MedModel*) a partir de dados reais e avaliações em diferentes cenários (variando-se o número de profis-

sionais). As contribuições específicas deste trabalho são a identificação da melhor taxa de chegadas de pacientes, a capacidade instalada e o impacto da rejeição de filmes.

A coleta de informações se deu de forma sistemática durante quatro semanas e o modelo foi concebido de forma a representar a clínica. Nesta etapa foram ainda realizadas as primeiras validações empíricas do modelo.

A Tabela 1 apresenta valor *Infinito* para as capacidades da Sala de Espera, Troca, Câmara Escura e Sala de Laudos. Além de ser uma possibilidade do *software* de simulação, ela indica que estes locais não são críticos para o modelo, ou seja, a clínica apresenta capacidade suficientemente grande para comportar os pacientes que chegarem, sem interferir no funcionamento da clínica.

A simulação mostrou que a melhor taxa de chegadas de pacientes para as configurações da clínica modelada foi uma exponencial com 29 minutos de média, apresentada na Tabela 3. Recebendo pacientes com essa taxa, o seu tempo de processamento seria otimizado, ou seja, seria dispendido o menor tempo possível dentro da clínica. Pode-se observar que o fator decisivo para escolha das alternativas de configuração se deve ao tempo de espera do paciente, pois os outros parâmetros (UM, UT e UE) não indicam restrição para o atendimento. Neste caso, não foi considerado o índice de rejeição de filmes.

No segundo conjunto, a capacidade instalada para o atendimento da clínica é avaliada, com taxas de chegada ajustadas a partir dos resultados do primeiro conjunto. Foram simuladas as configurações 1 e 2 quatro vezes e a configuração 3 seis vezes, até que surgissem pacientes remanescentes (não atendidos por falta de tempo). Verificou-se que, para as configurações 1 e 2, a capacidade máxima de atendimento é de 15

pacientes/dia e para configuração 3, 17 pacientes/dia. Observa-se que o tempo de espera do paciente dentro da clínica varia pouco entre as configurações 2 e 3. O número máximo de atendimentos indica o ponto de equilíbrio da clínica, observando questões relacionadas à qualidade de atendimento. Neste caso, o ponto de equilíbrio é o número de pacientes que podem ser atendidos, considerando a taxa real de repetição e evitando que pacientes retornem sem atendimento, assegurando ainda um tempo de espera tolerável.

Apesar de representar uma falha do sistema, a rejeição é comumente verificada em clínicas de radiologia. O *American College of Radiology* (1998) recomenda que o índice de rejeição seja menor que 5%. Este índice encerra os vários fatores que culminam na rejeição do filme. Entre os motivos mais comuns estão erro de posicionamento de paciente, baixa qualidade de imagem, artefatos na imagem, técnica radiográfica empregada e problemas com a revelação do filme. No terceiro conjunto de simulações, o impacto dos percentuais de rejeição de filmes foi avaliado. Nota-se que este impacto é progressivamente crítico, pois além de aumentar o tempo de espera do paciente, aumenta o seu tempo de bloqueio e a taxa de utilização de profissionais e equipamentos da clínica.

Como conclusão, pode-se afirmar que melhor desempenho foi obtido com a configuração 2 (dois técnicos), com uma taxa de chegada de pacientes representada por uma distribuição exponencial de média 29 min., atendimento de 15 pacientes/dia, com média de 78 min. de atendimento por paciente. A clínica real tem três técnicos e atende 15 pacientes por dia, sem marcação de horário. O modelo, apesar de simples, indicou resultados importantes, como por exemplo: capacidade de atendimento de quinze pacientes com dois técnicos; organização da chegada de pacientes por meio de agendamento; possibilidade de taxa de repetição de até 25% (5% a 8% no caso real), atendendo sem prejuízo do número de pacientes atendidos por dia. Além disto, esses resultados servem de base para estudos mais abrangente que incluam conceitos de custo, benefício e qualidade de atendimento.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro através de bolsas de fomento tecnológico, às quais os autores são gratos.

Referências

- American College of Radiology (1999), *Mammography quality control manual*, Reston: ACR (Committee on Quality Assurance in Mammography).
- Anderson, J.G. (2003), *Simulation in the health services and biomedicine*, Norwell, USA: Kluwer Academic Publishers.
- Azadivar, F., Shu, J.V. (1998), "Use of simulation in optimization of maintenance policies", In: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference [WSC'98]*, Washington DC, p. 1061-1067, 11-16 Dec.
- Caloba, G.M., De Oliveira, M.J.F., Lopez, M.G., Leventhal, G., Figueiredo, C.H.D.V. (2002), "Simulação do setor de maternidade de um hospital público da cidade do Rio de Janeiro", In: *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Rio de Janeiro, p. 1-1, 11-13 Oct.
- Cassandras, C.G., Lafortune, S. (1999), *Introduction to discrete event systems*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Centeno, M.A., Albacete, C., Terzano, D.O., Carrillo, M., Ogazon, T. (2000), "A simulation study of the Radiology Department at JMH", In: *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference [WSC 00]*, Orlando, v. 2, p. 1978-1984, 10-13 Dec.
- Coelli, F.C., Ferreira, R.B., Pereira, W.C.A., Almeida, R.M.V.R. (2004), "Simulação computacional de estratégias de manutenção de equipamentos de mamografia", In: *Anais do XIX Brazilian Congress on Biomedical Engineering, III Congresso Latino Americano de Engenharia Biomédica [CLAEB'2004]*, João Pessoa, Brasil, v. 5, p. 397-400, 22-25 Sep.
- Dean, B., van Ackere, A., Gallivan, S., Barber, N. (1999), "When should pharmacists visit their wards? An application of simulation to planning hospital pharmacy services", *Health Care Management Science*, v. 2, n. 1, p. 35-42.
- Dexter, F., Macario, A., Traub, R.D., Lubarsky, D.A. (2003), "Operating room utilization alone is not an accurate metric for the allocation of operating room block time to individual surgeons with low caseloads", *Anesthesiology*, v. 98, n. 5, p. 1243-1249.
- Fetter, R.B., Thompson, J.D., (1965), "The simulation of hospital systems", *Operations Research*, v. 13, n. 5, p. 689-711.
- Garcia, M., Centeno, M.A., Rivera, C., De Carlo, N. (1995), "Reducing time in an emergency room via a fasttrack", In: *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference [WSC'95]*, Arlington, p. 1048-1053, 03-06 Dec.
- Groothuis, S., van Merode, G.G., Hasman, A. (2001), "Simulation as decision tool for capacity planning", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 66, p. 139-151.
- Harrel C.R., Mott, J.R.A., Bateman, R.E., Bowden, R.G., Gogg, T.J. (2002), *Simulação Otimizando os Sistemas*, São Paulo: Belge IMAM.
- Hirshberg, A., Stein, M., Walden, R. (1999), "Surgical resource utilization in urban terrorist bombing: a computer simulation", *The Journal of Trauma*, v. 47, n. 3, p. 545-550.
- Law, A.M., Kelton, W.D. (2000), *Simulation Modeling and Analysis*, Boston: McGraw-Hill.
- Ministério da Saúde (1998), Secretaria de Vigilância Sanitária, "Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico", Portaria nº 453/1998.
- Nance, R.E. (1993), *A History of Discrete Event Simulation Programming Languages*, New York: ACM Press.

Paul, R.J., Hlupic, V., Giaglis, G.M. (1998), "Simulation modeling of business processes", In: *Proceedings of the 3rd UK Academy of Information Systems Conference*, Lincoln, 11-13 Jun.

Promodel (2002), *MedModel Users Guide*, Promodel Corporation, Utah, USA.

Samaha, S., Armel, W.S. (2003), "The use of simulation to

reduce the length of stay in an emergency department", In: *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference [WSC'03]*, New Orleans, p. 1907-1911, 07-10 Dec.

Winamaki, A., Dronzek, R. (2003), "Using simulation in the architectural concept phase of an emergency department design", In: *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference [WSC'03]*, New Orleans, p. 1912-1916, 07-10 Dec.