



ISSN 2175-6295 Rio de Janeiro- Brasil, 12 e 13 de agosto de 2010

ESTRUTURAÇÃO DE UMA NOVA UNIDADE DE DIAGNÓSTICO PET/CT ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Guilherme Luís Roeh Vaccaro

PPGEPS/UNISINOS

Av. Unisinos, 950 – São Leopoldo/RS

guilhermev@unisinos.br

Débora Oliveira da Silva

PPGEPS/UNISINOS

Av. Unisinos, 950 – São Leopoldo/RS

deboraoads@gmail.com

Isaac Pergher

PPGEPS/UNISINOS

Av. Unisinos, 950 – São Leopoldo/RS

eng.isaac@hotmail.com

Daniela Daiane da Silva

PPGEPS/UNISINOS

Av. Unisinos, 950 – São Leopoldo/RS

danieladaiane.adm@hotmail.com

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo de simulação computacional aplicado à estruturação de uma unidade de diagnóstico PET-CT, em um hospital da região metropolitana de Porto Alegre – RS. Para isso, buscou-se primeiramente construir um modelo de simulação representativo do processo de atendimento PET-CT, a fim de avaliar o desempenho da unidade estudada. Então, com base em na análise técnica dos resultados da simulação, buscou-se sugerir ações de melhoria no processo de planejamento da unidade de diagnóstico PET-CT. Para condução do estudo foi utilizado o método proposto por Law e Kelton (2000) para estudos de simulação computacional. Os resultados obtidos indicaram que uma pequena antecipação na escala de agendamento dos horários dos pacientes minimizam os efeitos nocivos de atrasos no processo e permitem, com 95% de confiança, o adequado atendimento dos pacientes e o uso racional das doses do radiofármaco utilizado nos exames.

Palavras-chave: Simulação Computacional. Hospitais. PET-CT.

Abstract

This paper presents a computer simulation study applied to the structuring of a PET-CT diagnostic unit in a hospital of the metropolitan zone of Porto Alegre – RS. First, a representative simulation model of the PET-CT treatment process was constructed, in order to evaluate the performance of the unit studied. Then, with basis on the technical analysis of

the simulation results, actions to improve the process planning of the diagnostic PET-CT unit were suggested. To conduct the study, the method proposed by Law and Kelton (2000) for computer simulation studies was used. Results suggest that a small advance in the scale of appointment scheduling of patients minimize the harmful effects of delays in the process and allow, with 95% of statistical confidence, the appropriate patient care and rational use of doses of the radioisotope the used in.

Keywords: Computer Simulation. Hospitals. PET-CT.

1. Introdução

Hospitais são ambientes de prestação de serviços onde diversos processos produtivos e atividades de apoio se combinam na busca pelo restabelecimento e preservação da saúde dos pacientes por ele atendidos. Nestes ambientes, as relações cliente-fornecedor são complexas, com altas exigências em relação à garantia da qualidade e aos tempos de espera para atendimento. Além das atividades médicas, existe uma gama complexa de serviços de apoio que contribuem para dificultar o processo de gestão hospitalar (BORBA; RODRIGUES, 1998a).

Em alguns procedimentos médicos, a espera pode ocasionar a inviabilização do procedimento, em detrimento da natureza dos materiais envolvidos. Como exemplo, pode-se citar os processos diagnósticos que utilizam compostos radioativos para sua realização. O método diagnóstico PET-CT (*Pósitron Emission Tomography - Computer Tomography*) é um procedimento que combina a tomografia por emissão de pósitrons com a tomografia computadorizada (NOGUEIRA, 2009; PEREGRINO *et al.*, 2004). Neste procedimento é utilizado um composto radioativo com meia-vida curta, de aproximadamente 102 minutos, fazendo com que o tempo se torne um fator crítico no processo de planejamento deste tipo de atividade.

Como forma de auxiliar a tomada de decisão, a simulação computacional pode ser utilizada tanto em análises sobre processos existentes quanto no planejamento de atividades futuras. A partir de um modelo de simulação de um processo futuro é possível identificar os pontos críticos que devem ser melhorados antes que o processo seja implementado. Dessa forma, os custos com falhas na operação ou remodelagem de processos tendem a ser minimizados (JOAQUIM, 2005). Em se tratando de um procedimento diagnóstico complexo como o PET-CT, o planejamento de sua operação *a priori* pode minimizar as perdas, principalmente no tocante à meia-vida do radiofármaco.

Este artigo faz uso da abordagem de simulação computacional como auxílio no processo de estruturação de uma nova unidade de diagnóstico PET/CT de um hospital na região metropolitana de Porto Alegre – RS. O objetivo principal do estudo é realizar uma análise técnica sobre o processo de atendimento aos pacientes que farão uso do método diagnóstico PET/CT, neste hospital. A análise visa identificar pontos críticos no processo, bem como dar suporte às decisões de dimensionamento de recursos e fluxos do processo, em termos do tempo de atendimento de pacientes dessa unidade operacional.

Por ser este um trabalho de pesquisa de simulação computacional, é utilizado o método proposto por Law e Kelton (2000) para condução de estudos dessa natureza. Para analisar os resultados dos diferentes cenários simulados foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KW). Este teste, conforme Hair *et al.* (2009), compara a posição relativa de grupos de dados, sendo indicado quando o padrão de variabilidade dos dados viola as condições de aplicação de análises de variância paramétricas, como ANOVA e MANOVA.

O artigo está estruturado em sete seções. A primeira seção, aqui finalizada, tratou da introdução ao estudo. A seção dois apresenta o referencial teórico, trazendo conceitos de simulação computacional em contextos hospitalares e sobre o método diagnóstico PET-CT. A terceira seção mostra o estudo propriamente dito, incluindo a etapa de levantamento, o modelo de simulação, indicadores e cenários. A seção quatro elucida e discute os resultados

obtidos com o estudo. As conclusões são postas na seção cinco. A seção seis traz os agradecimentos e, por fim, na seção sete, elenca-se o referencial consultado.

2. Referencial teórico

2.1 Simulação em contextos hospitalares

Visando melhorar o desempenho das instituições hospitalares, em termos de qualidade nos serviços prestados, gestão dos custos, entre outros aspectos, várias técnicas de engenharia de produção têm sido empregadas. Dentre elas, destaca-se a simulação computacional, por possibilitar a análise de problemas onde ocorrem incertezas (por exemplo, períodos de tempo os pacientes esperam por uma cirurgia) (PESSÔA; LINS, 2009).

Em uma pesquisa feita em hospitais na região metropolitana de Porto Alegre, buscou-se observar o conhecimento e o interesse dos hospitais na simulação computacional. Foi constatado que 82% dos entrevistados já tinham ouvido algo sobre simulação e, quando questionados sobre quais seriam os benefícios sobre o seu uso, os mais citados foram: (i) melhor alocação de recursos; (ii) agilizar serviços e tomada de decisão; (iii) melhorar a qualidade do atendimento; (iv) traçar alternativas para a resolução de problemas; (v) análise de investimentos; (vi) redução de desperdícios e gastos desnecessários; e, (vii) identificação de restrições no sistema (BORBA; RODRIGUES, 1998a, 1998b).

Para Joaquim (2005), a simulação computacional pode ser definida como o processo de concepção de um modelo abstrato de um sistema real (ou subsistema). A partir desse modelo, é possível realizar experiências, com vistas à maior compreensão do comportamento do sistema real. Além disso, é possível avaliar diferentes estratégias, dentro dos limites impostos por um conjunto de critérios para o funcionamento do sistema.

A simulação computacional é uma ferramenta que permite o desenvolvimento de um modelo que possibilitará o teste de um sistema de interesse, considerando certos aspectos importantes. Suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos e possibilitando um melhor conhecimento dos processos nas organizações (SAKURADA; MIYAKE, 2009). Simulação é útil para explorar os efeitos de sensibilidade (isto é, que parâmetros têm o maior efeito sobre os resultados).

Alguns exemplos de aplicação desta ferramenta em ambientes hospitalares podem ser vistos a seguir: (i) Denton *et al.* (2006), conforme citado por Joaquim (2005), realizaram um trabalho referente ao agendamento em um centro cirúrgico da Mayo Clinic (Rochester, EUA), onde são descritos alguns dos desafios relacionados aos problemas de agendamento e ilustraram como o modelo pode ser usado como uma ferramenta de auxílio para melhorar a tomada de decisões estratégicas e operacionais relacionadas à execução de procedimentos cirúrgicos; (ii) Mello *et al.* (2006) utilizaram a simulação para realizar estudos de tempos em um centro cirúrgico hospitalar, com o objetivo de propor melhorias para aumentar a capacidade de atendimento aos pacientes (iii) Marjamaa *et al.* (2009) empregaram a simulação para comparar custos e eficiência, no que tange a utilização de recursos; e (iv) Pêsoa e Lins (2009) realizaram um estudo voltado ao aumento da eficiência da utilização de um centro cirúrgico.

2.2 PET-CT

A PET (*Póstron Emission Tomography*), tomografia por emissão de pósitrons, é uma modalidade diagnóstica não invasiva, que utiliza radiofármacos para medir processos bioquímicos. O PET, assim como outras técnicas da Medicina Nuclear, pode demarcar doenças em termos de uma química regional quantitativamente anormal. A PET associada à tomografia computadorizada (PET/CT), foi introduzida em 1998, e teve impacto notório, principalmente na área da oncologia. Ela tem vantagem de produzir imagens morfofuncionais dos processos patológicos. A fluordeoxiglicose marcada com flúor (FDG-18F), análogo da glicose, é um preparador do metabolismo celular que pode ser registrado de modo não invasivo pela PET (NOGUEIRA, 2009; PEREGRINO *et al.*, 2004).

A combinação da PET com o CT (Tomografia Computadorizada), permite a fusão da imagem metabólica e anatômica, que resulta na localização precisa dos processos patológicos, podendo assim, verificar a expansão da doença, o monitoramento e o tratamento, dando uma melhor definição no procedimento médico que visa curar, aliviar ou prevenir a doença. No entanto, esses procedimentos expõem o paciente à radiação, havendo interesse em pesquisar um protocolo que possa minimizar a exposição sem prejuízo do diagnóstico.

Conforme INCA (2009), a PET/CT pode: (i) definir com alto grau de precisão a localização da lesão; (ii) determinar com segurança o estadiamento (grau de avanço) da doença e permite acompanhar com precisão a evolução da resposta terapêutica; e, (iii) fortalecer a capacidade de planejar intervenções terapêuticas, aumentando a possibilidade de resposta positiva ao tratamento.

A PET-CT pode detectar tumores de câncer considerados muito pequenos, portanto, seu uso aumenta a eficácia do tratamento, permitindo a identificação de tumores em estágio inicial e aumentando as chances de se usar medicamentos que controlam sua atividade e impeçam seu crescimento, reduzindo os riscos da proliferação das células cancerígenas. A PET-CT é um equipamento essencial para expandir a pesquisa sobre o perfil dos tumores no início da sua atividade (PORTAL DA SAÚDE, 2009). Os sistemas de imagem PET são equipamentos complexos e de custo elevado, pois sua instalação inclui não apenas o aparelho de imagem, mas os custos adicionais de um ciclotron e de uma unidade de radioquímica, para produzir os isótopos de meia-vida curta utilizados nos procedimentos (PEREGRINO *et. al.*, 2004).

3. Apresentação do estudo

Nesta seção, são apresentadas as características do processo PET-CT, bem como as sub-etapas envolvidas, dentre as quais, destacam-se: (i) agendamento; (ii) realização do exame; e (iii) logística do radiofármaco.

Quando o paciente recebe uma solicitação deste tipo de exame e procura o hospital, ele é encaminhado diretamente ao setor de atendimento. Neste setor ocorre o ‘agendamento’, que é constituído por todas as atividades referentes à: (a) esclarecimento de dúvidas; (b) oferta de informações sobre o exame; (c) formalização do pré-agendamento, que consiste na definição de uma data e horário em que o paciente virá para o hospital fazer a entrevista preliminar; (d) entrevista preliminar, a qual tem o intuito de transmitir as orientações necessárias para a preparação do paciente no que tange a realização do exame; (e) agendamento e cobrança, etapa em que ocorrem a marcação de uma data para a realização do exame e também a cobrança do sinal, que tem como finalidade garantir o comprometimento do paciente com a prestadora do serviço.

Quando chega o dia da ‘realização do exame’, o qual foi definido na atividade de ‘agendamento e cobrança’, são realizadas as seguintes atividades: (a) admissão; (b) entrevista complementar; (c) preparo para exame; e (d) realização do exame. A admissão refere-se aos procedimentos administrativos referentes à ‘entrada’ do paciente no hospital e também é feita a cobrança do restante do valor devido. A entrevista complementar busca verificar se os procedimentos apresentados ao paciente na ‘entrevista preliminar’ foram atendidos. Na atividade de preparo para exame, acontece a troca de roupa do paciente e também são feitos os procedimentos técnicos necessários para o exame. Depois de trocar a roupa, o paciente é encaminhado para a sala de repouso onde são verificados seus sinais vitais, glicemia e acesso venoso. Ao verificar normalidade nos sinais vitais, é realizada a administração do radiofármaco no paciente, pela aplicação de uma injeção. O paciente espera na sala por um intervalo de tempo que varia entre 45 e 60 minutos, tempo este necessário para absorção do radiofármaco pelo organismo do paciente.

Em seguida, ocorre a realização do exame. A enfermagem faz o deslocamento do paciente da sala de repouso até a sala do exame e também posiciona, de forma adequada, o paciente no equipamento. A aquisição das imagens é feita por um tecnólogo em radiologia.

Posterior a isso, as imagens do exame PET-CT são enviadas ao médico para serem interpretadas e avaliadas. O paciente aguarda a validação do exame no equipamento, pois pode ser solicitada alguma imagem complementar, feita pelo médico. Ao validar as imagens, a enfermagem orienta o paciente para se dirigir ao vestiário e trocar de roupa. Também são feitas algumas práticas de cuidados pós-exame com o paciente. Por fim, ocorre a liberação do paciente, onde são fornecidas instruções referentes à entrega do exame.

Para a realização do exame PET-CT, é necessário, entre outros recursos, a disponibilidade do radiofármaco. O HDM solicita para o IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) o número de doses deste produto, conforme o número de pacientes agendados um dia antes da realização do exame. Com a confirmação da compra das doses o IPEN programa-se para a entrega no dia seguinte. O processo logístico segue as etapas descritas no Quadro 1.

Horário	Etapas do fluxo logístico externo
10:00	Inicia a fabricação do radiofármaco.
12:00	Radiofármaco está pronto para ser misturado com a glicose.
12:30	Material pronto. Já inicia a perda do radiofármaco. O IPEN inicia os processos burocráticos: emissão da nota fiscal, solicitação do transporte até o aeroporto de Congonhas/SP, etc. Em condições normais, o radiofármaco aguarda a retirada da transportadora.
13:00	Radiofármaco é retirado pela transportadora e encaminhado para o aeroporto.
14:24	O material deve estar no mínimo uma hora antes do embarque no aeroporto de Congonhas.
15:25	O horário previsto para o vôo da TAM (JJ 3055). É única companhia aérea que tem autorização para transportar material rádio-ativo. O piloto pode não autorizar o embarque do material. E podem ocorrer atrasos na decolagem do avião.
16:55	O avião chega a Porto Alegre. Material tem que ser liberado pela Infraero (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária). Transportadora tem que já estar aguardando a liberação do radiofármaco.
17:25	Infraero libera o material. Transportadora se encaminha para o HDM.
17:45	Radiofármaco tem que estar chegando no HDM para a realização dos procedimentos que serão realizados pelo tecnólogo em radiologia.

Quadro 1: Logística externa radiofármaco

No momento que as doses chegam ao hospital, estas são transportadas (já fracionadas) em um êmbolo e imersas em um balde com chumbo. Primeiramente, a empresa de transportes chega ao estacionamento do hospital e o funcionário leva o balde com as doses até o laboratório. Em seguida, o tecnólogo em radiologia retira as doses do balde e posiciona as mesmas dentro da capela. Posteriormente, transfere a dose do primeiro paciente para a seringa e posiciona a mesma no Curímetro, a fim de medir a atividade do composto: (i) se o valor do resultado do teste ficar entre 8 e 10mCi, anota o resultado na ficha do paciente; ou (ii) se o valor do resultado do teste de atividade for inferior à 8mCi, relata ao Médico Nuclear e à Física Médica para avaliar o procedimento a ser tomado. Pode-se decidir administrar a dose, se o resultado for próximo do especificado ou até mesmo deixar de atender algum paciente e distribuir a quantidade disponível de modo a atender quantos pacientes for possível. Por fim o tecnólogo coloca a seringa com a dose dentro do chumbo e leva a mesma para a sala de repouso, onde se dará a atividade (c) preparo para exame.

3.1 Levantamento

O processo de levantamento dos dados iniciou com a realização de reuniões com equipes multidisciplinares de profissionais responsáveis pelo projeto. Dentre os profissionais envolvidos, podem-se citar médicos, enfermeiros, físicos-médicos, administradores, engenheiros, tecnólogos em radiologia médica, entre outros. Essas reuniões tinham por objetivo fornecer informações para a etapa de mapeamento dos processos e subsequente construção do modelo de simulação.

Além das informações detalhadas do funcionamento do processo, foi necessário coletar os tempos das atividades inclusas no modelo de simulação. Como se tratava de um processo ainda inexistente, não foi possível realizar coletas de tempos em campo. A exceção foi a atividade relacionada ao uso do ‘Vestiário’, a qual representa o momento que o paciente troca suas vestimentas. Como essa atividade existe de maneira muito semelhante em outros procedimentos já realizados no hospital, utilizou-se para tal os dados coletados em campo. Nesse caso foi feito o ajuste estatístico adequado, o qual resultou em uma distribuição LogNormal, com parâmetros de média 7,5930 min. e desvio padrão 6,6918 min.

Para as demais atividades os tempos foram definidos de forma empírica, com base na experiência dos profissionais da equipe. Na ausência de dados de campo, como é o caso de sistemas inexistentes, Law, McComas e Vincent (1994) afirmam que distribuições Beta, Gama ou Triangulares podem ser utilizadas. Essas distribuições servem como simplificações representativas da realidade, utilizando valores típicos coerentes com os esperados no sistema sob modelagem.

Segundo Santos (1999), o modelo de distribuição triangular tem sido bastante difundido em simulação, principalmente quando ocorre a indisponibilidade dos dados ou até mesmo a inexistência dos mesmos. Dessa forma, utilizou-se a distribuição Triangular para representar os tempos das seguintes atividades apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros das distribuições triangulares utilizadas

Atividade	Média (minutos) (C)	Tempo Mínimo (minutos) (A)	Tempo Máximo (minutos) (B)
Admissão	15	10	20
Entrevista complementar	15	10	30
Preparo Paciente	10	5	15
Busca Dose	1	0.5	2
Administra Dose	0,5	0.2	1
Repouso	52,5	45	60
Realiza Exame	25	20	30
Valida Exame	2,5	2	5
Complemento	3	2	5
Manuseio Dose	2,5	2	5

Após realizar o mapeamento dos processos, bem como a coleta dos tempos necessários, foi realizada uma reunião de validação com a equipe do projeto. Nessa reunião foram apresentadas as informações levantadas, bem como a realização de ajustes necessários. Após ter o mapeamento de processos validado, partiu-se para a construção do modelo de simulação computacional, sendo os detalhes da construção do estudo são apresentados na seção seguinte.

3.2 Modelo de Simulação, Indicadores e Cenários

A construção do modelo de simulação foi feita por meio do *software* Micro Saint 3.1 *Student*, com base nas descrições obtidas no mapeamento de fluxos de cada processo. Cada rodada do modelo representa um dia de atividade do processo real, ou seja, três atendimentos de exames PET-CT. Este modelo base foi validado em reunião, com as equipes do hospital e UNISINOS. Com o modelo base validado, os cenários alternativos propostos pela equipe do hospital e UNISINOS foram construídos e rodados no simulador.

Conforme os procedimentos de amostragem de simulação, inicialmente o modelo base foi rodado por trinta vezes, gerando resultados que foram analisados estatisticamente, obtendo-se a ordem de grandeza do desvio-padrão de cada um dos indicadores do processo. O indicador que apresentou maior desvio-padrão foi o *lead time* médio total do paciente, considerando o tempo desde a chegada do paciente na recepção do PET-CT até sua saída do vestiário após o exame. Para esse indicador, o desvio padrão foi de 7,08 minutos. Dessa forma, a amostra foi dimensionada a partir do desvio padrão de 7,08, considerando erro

absoluto máximo aceitável de 2 minutos para estimação da média e nível de significância 5%. O tamanho mínimo de amostra sugerida foi de 53 rodadas.

Este estudo originalmente contemplava a criação de quatro cenários alternativos ao modelo base. Durante a reunião de definição dos cenários a serem estudados, junto à equipe do hospital, foram definidos cinco cenários. Após avaliar os cenários definidos, a equipe do projeto, visando melhor subsidiar os gestores na tomada de decisão sobre o processo em questão, decidiu avaliar um número maior de possibilidades. Ao todo foram estudados 16 cenários, segundo as características a seguir apresentadas:

- a) parada não programada no equipamento de PET-CT, conforme comportamento do equipamento Tomografia 2 em operação;
- b) elevação do percentual de complementos de exame, de 5% para 15%;
- c) elevação do tempo médio de realização do exame, de 25 min para 35 min, e do tempo máximo de exame, 30 min para 60 minutos Neste cenário o tempo mínimo de exame permaneceria 20 min;
- d) atraso de um dos pacientes, mantendo a chegada dos demais no horário previsto. Foram avaliados os impactos de atrasos de 10 min, 20 min e 30 min em cada um dos três pacientes, resultando em nove deferentes cenários;
- e) 'atraso' na chegada da dose no hospital, considerando atrasos de 15 min, 25 min, 35 min e 45 minutos Observa-se que o atraso refere-se a uma ação intencional de planejamento da chegada das doses em relação aos pacientes, visto que as quantidades recebidas representam doses integrais, para fins de comparação.

Considerando o impacto do fator tempo na meia-vida do radiofármaco, quanto melhor forem identificados os pontos críticos de atrasos, melhor será o planejamento das ações de contenção. Dessa forma, o conjunto de cenários que avalia alterações de tempos no sistema pretende melhor subsidiar essa análise.

Cada um dos cenários foi rodado por 53 vezes, de acordo com o cálculo de dimensionamento de amostra anteriormente apresentado. Este número de rodadas foi utilizado para garantir significância de 5% na comparação dos tempos totais de atendimento dos pacientes do PET-CT, com erro absoluto inferior a dois minutos. Cada uma das rodadas representa um dia de atendimento.

Para monitorar o comportamento do modelo diante de cada cenário, e auxiliar na tomada de decisão, foi desenvolvido um conjunto de indicadores. Os indicadores utilizados para auxiliar na análise comparativa entre os cenários foram:

- a) quantidade final doses: refere-se ao aproveitamento das doses desde sua chegada no hospital. Considera-se para esse fim que todas as doses chegam ao hospital com 100% da quantidade esperada, independentemente do valor absoluto. Conforme informado anteriormente, a estimativa de meia-vida considerada para o radiofármaco Flúor 18 foi 102 minutos A perda na quantidade da dose considera o período desde a chegada da dose no hospital até o momento em que a mesma é administrada no paciente. São controladas as quantidades das três doses recebidas em cada dia de exame, resultando em três indicadores: (a) quantidade final dose 1 (destinada ao primeiro paciente); (b) quantidade final dose 2 (destinada ao segundo paciente); e (c) quantidade final dose 3 (destinada ao primeiro paciente);
- b) *lead time* (ou tempo de atravessamento) paciente: é o tempo que o paciente leva desde o início até um ponto de controle no processo simulado. Foram gerados dois *lead times* de pacientes: (a) *lead time* parcial paciente (desde a chegada do paciente na recepção PET-CT até o início do exame); e (b) *lead time* total paciente (desde a chegada do paciente na recepção PET-CT até o final do processo - saída do vestiário);

- c) *lead time* (ou tempo de atravessamento) dose – é o tempo que a dose leva desde sua chegada no hospital até ser administrada no paciente;
- d) percentual de ocupação dos recursos físicos – percentual de tempo disponível em que o equipamento de PET-CT fica efetivamente em uso;
- e) percentual de ocupação dos humanos – percentual de tempo disponível em que o agente de atendimento, o técnico em enfermagem e o tecnólogo em radiologia ficam efetivamente ocupados com as atividades modeladas.

4. Apresentação e Discussão dos Resultados

As análises comparativas realizadas foram feitas com a utilização do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. A análise comparativa enfocou os impactos sobre: a quantidade final das doses, no momento da administração no paciente; o *lead time* total da dose; e os *lead times* parcial e total do paciente.

As taxas de ocupação dos recursos não apresentaram variações significantes entre os cenários, sendo omitidas das análises. Essencialmente, do ponto de vista de ocupação, tanto o equipamento como as equipes parecem estar bem dimensionadas para a finalidade do processo, na forma como modelada.

As análises estatísticas sobre os resultados de meia vida das doses do radiofármaco nos 16 cenários modelados foram realizadas para cada uma das três doses consideradas no processo. O valor de referência de uma dose (100%) corresponde ao volume de dose recebido no hospital. Os dados absolutos foram adulterados para resguardar a estratégia da organização sob estudo.

4.1 Quantidade final da primeira dose

No cenário base a média desse indicador é 97,01%, com desvio padrão de 0,6%. A mediana é de 97,12%. Aplicando o teste KW, pode-se concluir que o impacto sobre a quantidade final da primeira dose é verificado nos cenários de atrasos de 20 e 30 minutos ($p\text{-value} = 0,000$) do primeiro paciente, resultando em medianas de 93,02% e 90,51% respectivamente. Nessas situações, a quantidade final do composto é significativamente menor que no cenário base. Dessa forma, dados os cenários simulados, é necessário agir no sentido de não exceder em 10 minutos o atraso do primeiro paciente, sob pena de não ser possível realizar o exame por insuficiência na quantidade do radiofármaco.

4.2 Quantidade final da segunda dose

No cenário base, a mediana desse indicador é de 92,50%, com média de 90,01% e desvio padrão de 6,14%. Pode-se afirmar que existem diferenças significativas ($p\text{-value} = 0,000$) nos cenários de ‘atraso’ da dose (15, 25, 35 e 45 min de atraso) comparativamente ao cenário base. Isso indica que a marcação de chegada dos pacientes com uma antecipação adicional de 15 minutos, em relação ao cenário base, permite, estatisticamente, uma melhor gestão da segunda dose do radiofármaco, sem impactos sobre a primeira dose.

Em relação aos atrasos de pacientes, tomando como referencial o cenário base, observa-se que atrasos maiores que 10 minutos do primeiro ou do segundo pacientes geram diferenças significativas ($p\text{-value} = 0,042$) sobre a quantidade da segunda dose. Para 10 minutos de atraso do primeiro paciente a mediana é de 89,63% e para 10 minutos de atraso do segundo paciente a mediana é de 90,20%. Além disso, confirmou-se que quanto maiores forem os atrasos do primeiro e segundo pacientes, maiores serão os impactos sobre o processo.

4.3 Quantidade final da terceira dose

No cenário base esse indicador apresenta média de 54,67% e desvio padrão de 4,66%. A aplicação do teste KW nos cenários tempo de exame maior e base elucida diferenças significativas entre estes ($p\text{-value} = 0,000$), apresentando mediana de 45,90% para o cenário

de tempo de exame maior. Esse impacto é resultante do acúmulo dos tempos dos exames do primeiro e segundo paciente sobre o indicador de quantidade da dose três. Ou seja, quanto maior o tempo de exame, maior o *gap* entre a chegada da primeira dose e a utilização da terceira dose.

O atraso de 20 minutos do segundo paciente gera uma condição significativamente diferente do cenário base ($p\text{-value} = 0,000$). A média do indicador quantidade final da terceira dose é de 52,39% para o cenário de 20 minutos de atraso do segundo paciente. Conseqüentemente, atrasos maiores também apresentarão diferenças em relação ao cenário base. Isso indica, dados os cenários simulados, que um atraso maior que 10 minutos do segundo paciente terá influência no aproveitamento da dose pelo terceiro paciente.

Os cenários de atraso de 30 minutos do segundo paciente e ‘atraso’ na chegada das doses (15 min, 25 min, 35 min e 45 min) podem ser considerados estatisticamente semelhantes ($p\text{-value} = 0,119$), no entanto, estatisticamente diferentes do cenário base ($p\text{-value} = 0,013$).

Pode-se concluir que, para o indicador de quantidade final da terceira dose, os cenários que mais geram impactos são os de aumento no tempo do exame, atrasos de mais do que 10 minutos do primeiro paciente e atrasos superiores a 20 minutos no segundo paciente. Novamente, uma antecipação adicional de 15 minutos da chegada dos pacientes em relação ao cenário base permite, estatisticamente, uma melhor gestão da segunda terceira dose do radiofármaco, sem impactos sobre as demais doses, podendo auxiliar a gerenciar atrasos dos pacientes de forma mais efetiva.

4.4 Lead time parcial paciente

No cenário base o *lead time* parcial do paciente (do momento da chegada do paciente até o início do exame) apresenta média de 142,57 minutos e desvio padrão de 5,07 minutos.

Nos cenários que propõem o atraso do primeiro paciente em 10, 20 e 30 minutos, quanto maior o valor de tempo de atraso, menor será o valor de *lead time* ($p\text{-value} = 0,000$). Verifica-se que a mediana é de 142,18 minutos, 135,89 minutos e 130,16 minutos, respectivamente para esses três cenários. Isto ocorre porque quanto mais tarde chegar o primeiro paciente, menos ele irá esperar pela chegada da dose, resultando em uma média de permanência no sistema menor para os pacientes.

Atrasos de mais de 10 minutos do segundo paciente geram diferenças significantes no *lead time* total dos pacientes ($p\text{-value} < 0,050$). O valor médio do *lead time* parcial para atrasos de 20 minutos do segundo paciente é de 137,00 minutos e para 30 minutos de atraso do segundo paciente é de 133,17 minutos.

Finalmente, para os cenários que mostram o ‘atraso’ da dose, quanto maior o valor de tempo de ‘atraso’, maior será o valor de *lead time* ($p\text{-value} = 0,000$). Isto porque o paciente permanece no sistema aguardando a chegada da dose. A mediana do *lead time* para 15 minutos de ‘atraso’ da dose é de 154,77 minutos, chegando a 183,84 minutos para ‘atraso’ da dose em 45 minutos.

4.5 Lead time total paciente

O *lead time* total do paciente no sistema apresenta média de 178,59 minutos e desvio padrão de 7,21 minutos no cenário base. A mediana é de 177,63 minutos

Há semelhanças no comportamento dos resultados de cada um dos cenários referentes ao *lead time* total, em comparação aos cenários do *lead time* parcial. As mesmas causas que fazem com que ocorra o aumento no *lead time* parcial afetam também o *lead time* total. No cenário de aumento do tempo de exame, ocorre o aumento no valor de *lead time* total (média 203,37 minutos) sendo este de forma similar ao *lead time* parcial.

Para os tempos de atraso dos pacientes, ao se analisar o *lead time* total, as mesmas características ocorrem aqui, quando comparadas ao *lead time* parcial. Para os cenários que propõem o atraso do primeiro paciente em 10, 20 e 30 minutos, quanto maior o valor de tempo de atraso, menor é o valor de *lead time* total ($p\text{-value} = 0,000$). Os valores da mediana

são de 178,92 minutos, 172,16 minutos e 167,39 minutos, respectivamente, para esses três cenários. Isto porque o atraso do primeiro paciente resulta em um tempo médio menor de permanência do mesmo no sistema.

Atrasos de mais de 10 minutos do segundo paciente geram diferenças significantes no *lead time* total dos pacientes ($p\text{-value} < 0,050$). Atrasos de 20 minutos e 30 minutos no segundo paciente resultam em um valor médio de *lead time* total de 172,39 minutos e 168,44 minutos, respectivamente. Essa redução do tempo médio do *lead time* total em relação ao cenário base, embora pequena, é explicada pelo menor tempo que o segundo paciente irá permanecer no sistema em função do seu atraso.

Da mesma forma com que ocorre no *lead time* parcial, para os cenários que propõem o ‘atraso’ da dose, quanto maior o valor de tempo de atraso, maior será o valor de *lead time* total ($p\text{-value} = 0,000$). Isto porque o paciente permanece no sistema aguardando a chegada da dose. A mediana varia entre 190,94 minutos e 220,53 minutos para os valores de *lead time* total nos cenários que propõem o atraso da dose.

4.6 *Lead time* total doses

A média do *lead time* total das doses é de 38,73 minutos e o desvio padrão de 6,33 minutos para esse indicador. O cenário que apresenta a proposta de tempo de exame maior fornece um resultado diretamente proporcional ao aumento do *lead time* das doses: quanto maior o tempo de exame maior o tempo de *lead time* das doses ($p\text{-value} = 0,000$). O valor médio do *lead time* das doses nesse cenário é de 46,11 minutos.

Da mesma forma que nos casos anteriores, o atraso do paciente 1 causa um impacto negativo no sistema, pois seu atraso representa atraso para o início das atividades de todo o sistema. Logo, quanto maior o tempo de atraso do paciente 1, maior será o valor do *lead time* das doses ($p\text{-value} = 0,000$). A mediana nesses cenários varia entre 41,42 minutos e 55,04 minutos.

Atrasos de mais de 10 minutos do segundo paciente geram diferenças significantes no *lead time* total das doses ($p\text{-value} < 0,050$), sendo o valor médio desse indicador nos cenários de atraso do segundo paciente é de 42,23 minutos para atrasos de 20 minutos e 42,51 minutos para atrasos de 30 minutos.

Finalmente, quanto aos cenários que propõem o ‘atraso’ na chegada das doses no hospital, observam-se diferenças significantes em relação ao cenário base ($p\text{-value} = 0,000$). Os valores de mediana nesses cenários variam entre 33,08 minutos e 32,27 minutos. No entanto, não há diferenças significantes entre os cenários de ‘atraso’ na chegada as doses entre si ($p\text{-value} = 0,058$). Isto porque, em todos os cenários dessa natureza, o paciente permanece no sistema aguardando a chegada da dose.

4.7 Discussão dos resultados

Os resultados da simulação discutidos na seção anterior são sintetizados no Quadro 2.

Indicador	Impactos significantes (comparação com o cenário base)
Quantidade final da primeira dose	Nos cenários que promovem atrasos de 20 e 30 minutos.
Quantidade final da segunda dose	Nos cenários de atraso da dose, nos tempos 15, 25, 35 e 45 minutos.
Quantidade final da terceira dose	Cenário de tempo máximo de exame 60 minutos.
<i>Lead time</i> parcial paciente	Cenários que propõem o atraso do primeiro paciente nos tempos 10, 20 e 30 minutos.
<i>Lead time</i> total paciente	
<i>Lead time</i> total doses	Cenário de tempo máximo de exame 60 minutos.

Quadro 2: Síntese dos resultados significantes ($p < 0,05$)

A análise comparativa dos resultados gerados por meio do modelo de simulação sobre os 17 cenários testados permite evidenciar que:

- a) atrasos de mais de 10 minutos de um paciente têm algum tipo de efeito, geralmente nocivo, sobre o desempenho do sistema;
- b) os efeitos dos atrasos são mais significantes em relação ao primeiro paciente, decaindo em relação à seqüência de pacientes, dadas as dependências e a característica seqüencial do processo;
- c) a duração do exame tem impacto direto sobre a permanência dos pacientes no processo e sobre o aproveitamento da seqüência de doses;
- d) a elevação do número de complementos até um nível de 15%, ressalvada a correção dos dados estimados para a modelagem, não tem impacto significativo sobre o aproveitamento das doses e o tempo de permanência dos pacientes;
- e) o ‘atraso’ das doses em 15 minutos ou mais, relativamente ao momento de chegada dos pacientes gera um efeito benéfico sobre o sistema, permitindo compensar os efeitos negativos de eventuais atrasos de até 10 minutos dos pacientes.

Da análise realizada, há evidências para sugerir que os horários de agendamento dos pacientes sejam antecipados em 15 minutos, em relação à chegada prevista das doses (modelo base). Essa antecipação, apesar de gerar um acréscimo direto de 15 minutos no tempo total de permanência do paciente no sistema, permite gerenciar de forma mais robusta atrasos de até 10 minutos de qualquer dos pacientes, bem como minimizar os efeitos nocivos de atrasos superiores a essa marca.

Cumpra observar, que o tempo adicional de 15 minutos pode acarretar um custo adicional em função dos horários de trabalho dos profissionais que darão atendimento aos pacientes. Esse desdobramento não foi avaliado no âmbito deste projeto, devendo ser avaliado posteriormente.

Observa-se, finalmente, que maiores refinamentos sobre este processo poderão ser realizados a partir do início de sua operação. A obtenção de dados de campo pode revelar novas evidências e oportunidades de melhorias do desempenho do processo.

5. Considerações finais

O presente trabalho teve o intuito de apresentar o planejamento de um processo de diagnóstico por imagens em um ambiente hospitalar por meio da utilização de simulação computacional. Por se tratar de um processo onde se utiliza um radiofármaco que perde massa em função do tempo, o planejamento detalhado desse processo antes do início de sua operação surge como um importante fator de redução dessas perdas. Nesse sentido, tanto as etapas de mapeamento de processos como o estudo de simulação propriamente dito possibilitaram questionamentos profundos que colaboraram para um planejamento mais eficaz de tal serviço.

Por se tratar de processo em fase de implantação, a etapa de mapeamento configurou-se ainda como um processo de construção dos limites de cada atividade do processo. Os pesquisadores agiram também como questionadores, no intuito de discutir cada atividade com os profissionais que detêm o conhecimento técnico do procedimento do exame. Essa troca de conhecimentos corrobora a criação de procedimentos robustos e eficientes. A inexistência do processo em atividade impactou profundamente no processo de modelagem, principalmente no tocante aos tempos das atividades. Para isso, o conhecimento dos profissionais envolvidos e sua colaboração foram fundamentais para gerar as estimativas de tempos de cada atividade.

Cabe ainda sugerir a continuidade de uso e aprendizado gerado por projetos de Simulação Computacional em ambientes hospitalares, por meio de trabalhos que ampliem o apoio a outros setores no processo de tomada de decisão. A continuidade de estudos de simulação computacional na instituição, amplia as possibilidades de suporte a decisões caras ou complexas com redução dos riscos associados. Essa iniciativa contribui também para a compreensão da metodologia e busca da construção de uma cultura que preconize o uso de

ferramentas adequadas para suporte a tomada de decisão, característica ainda inovadora em termos de gestão hospitalar.

6. Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem ao Hospital no qual o trabalho foi desenvolvido, pelo apoio e pela disponibilidade em realizar o presente trabalho.

7. Referências

- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BORBA, G. S.; RODRIGUES, L. H. Pesquisa conhecimento e viabilidade da utilização de simulação computacional nos hospitais da região metropolitana de Porto Alegre. **Revista Eletrônica de Administração da UFRGS – REAd**. ed. 08, Vol. 4 No. 1, 1998a. Disponível em: <<http://www.read.ea.ufrgs.br>>. Acesso em: 10 fev. 2010.
- BORBA, G. S.; RODRIGUES, L. H. Simulação computacional aplicada a sistemas hospitalares. **Revista Eletrônica de Administração da UFRGS - REAd**. ed. 08, Vol. 4. No. 1, 1998b. Disponível em: <<http://www.read.ea.ufrgs.br>>. Acesso em: 10 fev. 2009.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R.L.; BLACK W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HAMMER, Michael. **A agenda: o que as empresas devem fazer para dominar esta década**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- INCA. **INCA inaugura Centro de Pesquisa em Imagem Molecular**. Disponível em: <http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/agencianoticias/site/home/noticias/centro_pesquisa_imagem_molecular>. Acesso em: 26 out. 2009.
- JOAQUIM, E. D.; VIEIRA, G. E. Modelagem e análise de um novo centro cirúrgico para um hospital em crescimento: uma abordagem baseada em simulação. **Revista Produção**, v. 19, n. 2, p. 274-291, 2009.
- JOAQUIM, E. D. **Análise de um novo centro cirúrgico para o hospital universitário Cajuru: estudo de caso baseado em simulação computacional**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR, 2005.
- LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation Modeling and Analysis**. 3th ed. [S.L.]: McGraw-Hill, 2000. 759p.
- MARJAMAA, Riitta A., TORKKI, Paulus M.; HIRVENSALO, Eero J. *What is the best workflow for an operating room? A simulation study of five scenarios*. **Health Care Management Science**, v. 12, n.2, p.142-146, 2009.
- MELLO, Carlos Henrique Pereira *et al.* **Simulação computacional: estudo de tempos em um centro cirúrgico**. In: ENEGEP, 2006, Fortaleza, CE, Brasil. Anais eletrônicos. Disponível em: <http://publicacoes.abepro.org.br/>. Acesso em: 16 Abr. 2009.
- NOGUEIRA, S. A.; LEDERMAN, H. M.; WAGNER, J; YAMAGA, L. Y.; CUNHA, M. L.; FUNARI, M. B. G. Estudo comparativo da qualidade de imagem dos modos de aquisição da PET: validação de um protocolo para reduzir a dose de radiação. **Revista Radiologia Brasileira**, 42 (2), p. 103-107, 2009.
- NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- PESSÔA, Leonardo A. M.; LINS, Marcos P. E. **Uma proposta para aumento de cirurgias utilizando simulação em centro cirúrgico**. In: SPOLM, 2009, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Anais eletrônicos. Disponível em:<<https://www.casnav.mar.mil.br/spolm2009/artigos/artigos2009.asp>>. Acesso em: 16 Abr. 2009.
- PEREGRINO, A. A. F.; VIANNA, C. M. M.; COELI, C. M.; VIANNA. D.; WERNECK, G. L.; MAGALHÃES, R. E.; CAETANO, R. **Avaliação Tecnológica da Tomografia de Emissão de Pósitrons (PET): Revisão Sistemática e Proposta de Estudo - Síntese das Avaliações Tecnológicas sobre PET realizadas por Agências Internacionais de ATS na área de Oncologia**. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf>>. Acesso em: 26 Out. 2009.

PORTAL DA SAÚDE. **Inca inaugura o mais moderno centro de diagnóstico por imagem de câncer da América Latina.** Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/noticias/default.cfm>>. Acesso em: 26 Out. 2009.

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços.** Revista Gestão & Produção, São Carlos - SP, v. 16, n. 1, p. 25-43, jan.-mar. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a04.pdf>>. Acesso em: 16 Abr. 2009.