

COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE DE UM TOMÓGRAFO COMPUTADORIZADO DE UM CANAL E OUTRO DE QUATRO

R.P. Santos* **, F.C. Coelli*, R.M.V.R. Almeida**, W.C.A. Pereira**

*Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) - RJ - UnED Itaguaí, Itaguaí, Brasil

**Programa de Engenharia Biomédica, Instituto Alberto Luiz Coimbra (COPPE),

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil

e-mail: rogeriopires1@uol.com.br

Resumo: Os setores de imagem são imprescindíveis no diagnóstico de doenças, e os tomógrafos computadorizados (TCs) tornaram-se um dos equipamentos mais importantes desses setores. Este trabalho apresenta o processo de substituição de um TC de um canal por outro de quatro, avaliando o efeito na produtividade do setor. O estudo foi feito em um hospital de médio porte na cidade do Rio de Janeiro que conta com vários aparelhos radiológicos, entre eles, TC e arco cirúrgico. O setor de tomografia funciona ininterruptamente. O processo de execução dos exames foi dividido em seis etapas: chegada do paciente, movimentação deste na sala de exame, posicionamento do paciente, entrada de dados no TC, tempo de exame e tempo até a saída do paciente da sala. Os resultados indicaram uma diminuição dos tempos dos exames feitos no aparelho de quatro canais nas etapas três, quatro e cinco. O tempo médio dos exames estudados caiu de 20'17" no TC antigo para 6'59" no novo. Os tempos de execução dos exames representavam 65% do tempo total no aparelho antigo e passaram a representar pouco mais que 35%. Assim, as outras etapas passaram a ter um peso maior no tempo total dos exames. A caracterização das diferenças entre as capacidades dos dois equipamentos permitiu uma alteração nos procedimentos de marcação dos exames, adequando-o a tecnologia introduzida e aumentando sua eficiência.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada, Produtividade, Multi-Cortes, Agendamento.

Abstract: Radiology and imaging services are now indispensable in disease diagnosis, and the Computed Tomographs (CTs) are some the most important elements of these services. This paper presents the process of replacing a single slice CT by a four-slices model, analyzing the effect of this substitution on the productivity of the service. The study was performed in a private medium-sized hospital in Rio de Janeiro, RJ, Brazil. The hospital image sector had a large number of image equipment, including a CT and a C-arc surgical x-ray, and the sector is open full-time. The exam process was divided into six stages: patient arrival, patient movement inside the exam room, patient positioning, CT data entry, exam duration and time until the patient leaves the room. Results indicated a decrease in exam times with the four slices unit in stages three, four and five. The execution times of the exams accounted for

65% of total time in the old equipment and now represent slightly over 35%. Therefore, other steps now have a larger weight in the total exam time. The characterization of the two equipment capacities allowed for changes in scheduling procedures, adjusting these procedures to the new technology and thus, maximizing its efficiency.

Keywords: Computed Tomography, Productivity, Multi-Slice, Scheduling.

Introdução

Os setores de radiologia ou, de forma mais geral, de imagem, são atualmente imprescindíveis no processo de diagnóstico e acompanhamento do tratamento de doenças. Estes setores se tornaram vitais aos hospitais e centros médicos, por sua importância no diagnóstico de um paciente [1]. Normalmente possuem aparelhos de raios X convencionais, ultrassom, mamografia, tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética, sendo estes últimos menos comuns no Brasil. Estes setores normalmente realizam muitos exames, com altos custos na aquisição dos equipamentos e insumos, em mão de obra e manutenção. Logo, os exames também se tornam caros, e grandes volumes de recursos estão envolvidos.

No ano de 2009 no Brasil, de todos os aparelhos médicos dedicados a exames de imagem, 4,74% eram TCs (três mil e dezenove aparelhos), ocupando o oitavo lugar em número de aparelhos instalados e o primeiro de alto custo nesta lista. A maioria destes (87,65%) estava instalados em unidades privadas [2].

Os exames de TC, atualmente, são utilizados para análise de quase toda a anatomia humana [3-5], utilizando um feixe de radiação ionizante que transpassa o paciente para produzir sinais elétricos em um detector. Esse detector pode conter uma ou mais "carreiras de sensores" ou canais, que caracterizam o número de cortes ou imagens simultâneas que o aparelho pode produzir. No caso dos equipamentos estudados, o primeiro possuía uma carreira de sensores (um canal) e o segundo quatro (quatro canais). Os sinais provenientes do detector são enviados para um computador central, que produz imagens seccionais ou reconstruções multiplanares e tridimensionais, por exemplo. Normalmente, a operação dos TCs fica a cargo de técnicos, tecnólogos ou médicos. As imagens são obtidas eletronicamente,

assim, a impressão em filme é facultativa, sendo, atualmente, comum a análise das imagens em terminais de vídeo documentadas a seguir em papel ou mídia ótica.

Os tempos dos exames, e, por conseguinte, a sua produtividade, variam devido à grande diversidade de áreas examináveis e à velocidade dos aparelhos. Na atualidade, existem à venda no Brasil modelos com aquisição helicoidal de um a, trezentos e vinte canais, sendo este último o "estado da arte". Assim, existem aparelhos capazes de fazer exames em poucos segundos, sendo a obtenção da imagem uma das etapas mais rápidas do processo. Porém, a maioria dos aparelhos instalados ainda é de helicoidais entre um e quatro canais.

Apesar de, nos últimos anos, ter havido uma ampliação do acesso a esta tecnologia, a demanda por estes exames ainda supera a oferta. Por outro lado, a pressão do mercado pela inserção de aparelhos mais modernos pode levar à idéia simplista de que sua adoção resulta automaticamente em aumento de produtividade. Assim, o estudo da produtividade de equipamentos torna-se importante para auxiliar na especificação do modelo que melhor supra as necessidades de um serviço. Este trabalho apresenta o processo de substituição do TC de um canal por outro de quatro canais, analisando o efeito desta substituição na produtividade de um setor de TC.

Materiais e métodos

Cenário da pesquisa - O estudo ocorreu em um hospital particular de médio porte localizado na cidade do Rio de Janeiro. A unidade conta com ambulatório, três salas cirúrgicas, trinta e quatro leitos de internação, oito leitos de pequena e média emergência e dez de CTI. O setor de diagnóstico por imagem conta com dois aparelhos de raios X fixos e dois móveis, um mamógrafo, um TC, dois aparelhos de ultrassom, um de ecocardiografia e um arco cirúrgico. O setor de TC funciona vinte e quatro horas por dia e sete dias por semana, com sete técnicos/tecnólogos em radiologia. A unidade estava trocando o seu TC antigo de um canal por outro mais novo de quatro canais, também usado. A pesquisa ocorreu no momento de transição entre os dois aparelhos.

Os aparelhos – Como dito, o aparelho substituído possuía tecnologia de aquisição helicoidal, com um corte por rotação (“*single-slice*” ou “um corte”) e tempo máximo de rotação de um segundo (velocidade máxima de rotação do tubo = 1 rotação/segundo). Esse aparelho foi fabricado em 1998 e instalado na unidade no ano de 2002, e sempre esteve coberto por contrato de manutenção. O aparelho apresentava limitações diagnósticas que levavam à não solicitação de alguns exames, este também não possuía suporte ao protocolo de comunicação DICOM e o setor imprimia as imagens em filme de TC comum, com revelação em máquinas reveladoras de filmes de raios X.

O aparelho instalado foi um TC fabricado em 2006 e totalmente reformado, com tecnologia de aquisição

helicoidal de quatro canais (“*multi-slice*” ou “multi cortes”, no caso, quatro) e tempo máximo de rotação de 0,75 segundo (velocidade máxima de rotação do tubo \approx 1,33 rotação/segundo), comunicação DICOM e uma estação de trabalho (*workstation*) própria, podendo ser operado por dois profissionais simultaneamente (o primeiro fazendo a aquisição das imagens e o segundo visualizando-as, fazendo reconstruções ou imprimindo exames). Foram instalados, ainda, outra *workstation* com gravador de DVD e uma impressora de papel A3 laser colorida. Assim, a unidade mudou os métodos de documentação dos exames para papel fotográfico e gravações em mídia ótica (opções mais econômicas que a original).

Processo de Exame - Durante duas tardes (primeira visita, “*single-slice*”; segunda, “*multi-slice*”) os exames de TC foram acompanhados, as etapas do processo foram caracterizadas e seus tempos medidos.

As etapas - O processo de execução do exame de tomografia foi caracterizado em seis etapas e os seus tempos de execução medidos:

1. Chegada da guia até a entrada do paciente na sala;
2. Entrada do paciente até seu posicionamento;
3. Posicionamento do paciente até a entrada de dados no computador do aparelho;
4. Entrada dos dados até o início do exame;
5. Tempo entre o início e o fim do exame (tempo do exame);
6. Tempo entre o fim do exame e a saída do paciente.

As etapas três, quatro e cinco referem-se diretamente ao aparelho, representando, respectivamente, maior facilidade de posicionamento do paciente, de inserção de dados e maior rapidez na execução do exame propriamente dito. As outras etapas referem-se ao processo de entrada e saída do paciente da sala.

Para cada etapa, foram calculados os tempos médios e os desvios-padrões de todos os exames. Para fins de estudo de produtividade foram observados os tempos globais dos exames, mas para uma comparação mais específica do desempenho dos aparelhos. Apesar da pouca quantidade, o tipo de exame que mais ocorreu nas duas visitas foi o de coluna lombar, assim, as análises focaram-se nestes.

Tempos mínimos / máximos para os exames de coluna lombar: foi utilizada a metodologia proposta em [7] e [9], que consiste, basicamente, em computar os menores e os maiores tempos de cada etapa para projetar os tempos mínimos (melhor cenário) e máximos (pior cenário) dos exames, respectivamente. Assim é possível supor quais seriam, idealmente, os tempos mínimos e máximos do processo de exame de coluna lombar. Essa estimativa foi realizada para cada um dos aparelhos analisados.

Resultados

Foram avaliados sete exames, quatro na primeira visita e três na segunda. Na primeira visita o primeiro exame foi de crânio e os demais de coluna lombar, e na

segunda, o segundo exame foi de tórax e os outros de coluna lombar. Não foi utilizado meio de contraste oral ou intravenoso. Na Tabela 1 estão indicados os tempos

medidos nas duas visitas (minutos e segundos), assim como a média e o desvio-padrão (dp) de seus tempos.

Tabela 1: Tempos de exames medidos, médias e desvios-padrão, em minutos e segundos, relativos a sete exames de TC realizados com dois aparelhos em uma unidade do Rio de Janeiro. Os exames 1, 2, 3 e 4 referem-se a um TC *single-slice* fabricado em 1998, e os demais a um *multi-slice* de 2006.

Etapa	Exame 1	Exame 2	Exame 3	Exame 4	Média	dp	Exame 5	Exame 6	Exame 7	Média	dp
1	1'49"	8"	7"	44"	42"	41"	1'28"	7'20"	1'06"	3'18"	2'51"
2	6'50"	2'44"	55"	1'13"	2'55"	2'21"	51"	45"	20"	39"	13"
3	2'07"	1'22"	1'39"	1'19"	1'37"	19"	54"	50"	55"	53"	02"
4	1'15"	1'42"	53"	1'58"	1'27"	24"	34"	2'19"	46"	1'13"	47"
5	4'26"	18'20"	12'47"	8'43"	11'04"	5'07"	2'39"	1'54"	2'21"	2'18"	18"
6	1'37"	2'29"	1'03"	2'41"	1'58"	39"	49"	1'14"	1'12"	1'05"	11"
Total	18'07"	26'47"	17'26"	16'39"	19'45"	4'06"	7'16"	14'24"	6'42"	9'27"	3'30"

Observa-se uma diminuição dos tempos dos exames feitos no aparelho de quatro canais nas etapas três, quatro e cinco, que referem-se diretamente ao aparelho. Pôde-se observar, também, uma diferença de procedimento por parte dos operadores no que se refere à arrumação da sala, antes ou depois dos exames, que se reflete nos tempos das etapas 1 e 6. Entre as duas

visitas houve uma diminuição dos tempos médios globais de 19'45" para 9'27". Os tempos para os exames de coluna lombar são apresentados na Tabela 2, junto dos tempos médios, os desvios-padrão e a contribuição percentual de cada etapa para o tempo total do processo (Contr).

Tabela 2: Tempos de exames de coluna lombar medidos, médias e desvios-padrão, em minutos e segundos, relativos a cinco exames de TC realizados com dois aparelhos em um hospital do Rio de Janeiro. Os exames 2, 3 e 4 referem-se a um TC *single-slice* de 1998, e os demais a um *multi-slice* de 2006.

Etapa	Exame 2	Exame 3	Exame 4	Média	dp	Contr (%)	Exame 5	Exame 7	Média	dp	Contr (%)
1	8"	7"	44"	19"	17"	1,64	1'28"	1'06"	1'17"	11"	18,43
2	2'44"	55"	1'13"	1'37"	47"	8,02	51"	20"	35"	15"	8,51
3	1'22"	1'39"	1'19"	1'26"	8"	7,14	54"	55"	54"	0'00"	13,01
4	1'42"	53"	1'58"	1'31"	27"	7,51	34"	46"	40"	06"	9,68
5	18'20"	12'47"	8'43"	13'16"	3'56"	65,43	2'39"	2'21"	2'30"	08"	35,92
6	2'29"	1'03"	2'41"	2'05"	43"	10,26	49"	1'12"	1'00"	11"	14,46
Total	26'47"	17'26"	16'39"	20'17"	4'36"		7'16"	6'42"	6'59"	00'17"	

Nota-se que a diferença entre os tempos médios dos exames ficou maior entre os aparelhos (20'17" no antigo e 6'59" no novo). Os tempos de execução dos exames que representavam 65% do tempo total do processo aproximadamente e passaram a representar pouco mais que 35%. Assim, as outras etapas passaram a ter uma maior importância sobre o tempo total dos exames. Finalmente, os tempos mínimos/máximos para os exames de coluna lombar foram estimados como 13'02"/28'07" (*single-slice*) e 6'06"/7'52" (*multi-slice*).

Discussão

Este estudo avaliou as alterações de produtividade obtidas pela introdução de um aparelho de TC mais moderno (*multi-slice*) em uma unidade de saúde. Com um aparelho mais rápido, obviamente era esperado um aumento da capacidade de execução de exames do setor, porém, a questão fundamental, motivadora da presente análise foi: qual acréscimo de produtividade

pode-se realmente esperar com a troca de um TC de um canal por outro de quatro canais? Esta dúvida enfatiza a importância do estudo dos tempos de execução dos exames para se definir qual o melhor tipo de aparelho para as necessidades de uma unidade.

A literatura de Engenharia Clínica cita que os parâmetros que devem ser analisados com fins de substituição de equipamentos biomédicos são: tempo de uso e condição, nível de utilização, aceitabilidade clínica, estado da tecnologia, disponibilidade de peças, custo de manutenção e confiança projetada [6]. No caso de equipamentos de TC, as razões que levam uma unidade a optar por sua substituição são, basicamente: qualidade diagnóstica, produtividade, dose aplicada ao paciente e questões de ordem técnica (número de falhas e dificuldade de reposição de peças, por exemplo).

Como os TCs podem examinar áreas diferentes da anatomia, os tempos dos exames também podem diferir marcadamente. Assim, quando os tempos são medidos deve-se levar em consideração o tipo de exame feito.

Logo, os tempos médios serviram para a alteração na política de agendamento, mas não para comparação direta de velocidade, e optou-se também por estudar somente os exames de coluna lombar por terem ocorrido em maior quantidade nos dias da pesquisa. Além destas diferenças é preciso ressaltar os problemas ocorridos durante as medidas. No segundo exame da primeira série, como o operador não estava obtendo uma boa imagem este alterou a técnica de exame (aumentou a corrente do tubo, o mA, e conseqüentemente, a potência do exame), o que provocou um problema no aparelho e atrasou a execução do mesmo [etapa 5]. No segundo exame da segunda série o operador demorou a encontrar o paciente na sala de espera [etapa 1]. Assim, os tempos destes exames aumentaram visivelmente. Se estes vieses forem desconsiderados, os tempos dos dois exames tendem para a média dos demais. Nos outros exames da segunda série, a primeira etapa (chegada da guia até a entrada do paciente) também foi mais demorada, o que pode ser atribuído a problemas de encaminhamento, recepção de pacientes ou de procedimentos do operador. Deve-se observar que o estudo objetivou avaliar a produtividade global do sistema relativamente ao equipamento utilizado. Assim, para um melhor entendimento de suas limitações e possibilidades, foi preciso analisar detalhadamente o comportamento de todas as etapas do exame.

Comparando-se os tempos medidos com os dois aparelhos pode-se observar que o fato do aparelho produzir quatro imagens simultâneas não significa que ele será quatro vezes mais rápido que o que produz somente uma. Visto isso, com a observação de que as etapas não relacionadas com o desempenho do equipamento tornam-se mais importantes no tempo total dos exames, pode-se inferir que, mesmo que o tempo de exame fosse *zero* ainda assim não se conseguiria diminuir o tempo do processo sem alterações, por exemplo, nas rotinas de preparo do paciente. Com tal objetivo, um estudo de simulação computacional [7-10] poderia ser feito, no intuito de alterar-se estes processos, produzindo um aumento da eficiência das etapas não dependentes do aparelho. Outra opção é o teste empírico de mudanças, como feito por [11] também em um setor de TC.

Como esperado, as etapas 3, 4 e 5 foram as que mais tiveram seus tempos diminuídos, pois referem-se diretamente ao equipamento. As etapas 3 e 4 referem-se à facilidade de operação inerente aos sistemas mais modernos, principalmente no caso da etapa 4, na qual programas mais “amigáveis” tornam a operação mais intuitiva e rápida. Porém, mais uma vez, como esperado, a etapa que mais evoluiu de um aparelho para o outro foi a 5, que refere-se à execução do exame propriamente dito. Neste caso, o tempo médio de exame do aparelho “quatro canais” é pouco mais de um terço do tempo do “um canal”.

Como dito, os tempos mínimos e máximos dos exames de coluna lombar foram estimados como 13'02"/28'07" (aparelho de um canal), e 6'06"/7'52"

(quatro canais). Como discutido em [12], esses valores mínimos de tempo podem ser considerados ideais, pois, em cada uma das etapas, utiliza-se o menor tempo medido. Esses valores servem, por exemplo, para a estipulação de metas de produtividade ou mesmo para a determinação da política de agendamento de exames. Anteriormente a unidade agendava os exames, independentemente do tipo, de trinta em trinta minutos, o que, observando-se os dados, no caso de exames de coluna lombar, representa uma super-estimação. Com o aparelho atual, o intervalo poderia ser de dez em dez minutos, pois mesmo o tempo máximo é menor que este intervalo. Assim, com base nos resultados apresentados neste estudo, a unidade optou por diminuir o intervalo entre exames de trinta minutos para quinze. Este procedimento, em princípio, permitiria dobrar a capacidade máxima da unidade, com uma produtividade de até dois mil oitocentos e oitenta exames/mês ou trinta e cinco mil e quarenta exames/ano, considerando-se que o setor funciona ininterruptamente (168 horas/homem trabalhadas - HHT). Esse resultado é superior, por exemplo, ao apresentado em [11], que projetou uma produtividade de 38.740 exames/ano com três técnicos trabalhando 99 horas semanais (297 HHT) com um TC de oito canais e outro de dezesseis. O aumento da qualidade diagnóstica propiciou ainda um aumento do número de exames executados, aumentando, conseqüentemente, a lucratividade do setor, que passou ainda, como dito, a economizar no método de documentação.

Conclusão

A introdução de novos equipamentos de TC em um setor de radiologia não deve ser realizada sob uma expectativa simplista de que o número de exames será multiplicado pelo número de cortes simultâneos do equipamento. Para a estimação efetiva dos ganhos de produtividade é preciso considerar os tempos envolvidos em todas as etapas do exame, bem como as alterações de rotina que eventualmente devam ser introduzidas.

Apesar do número pequeno de exames e do estudo ter se concentrado em dois dias/dois operadores, os resultados permitiram conclusões significativas sobre o sistema estudado, encorajando estudos que envolvam, por exemplo, técnicas de simulação computacional não-linear, como aplicadas em [7] e [10], onde utilizaram o pacote Medmodel da *softhouse* ProModel. Seria possível, assim, desenvolver ferramentas de apoio à decisão, por exemplo, para a escolha de opções com melhor custo/efetividade para a unidade.

Agradecimentos

Parte desta pesquisa foi financiada por CAPES (Programa PROEX) e CNPq, a quem agradecemos. Agradecemos aos diretores e gestores da unidade estudada, Drs. Aziz e Lilian e Sra. Adriana.

Referências

- [1] Ramis, F.J. et al. A simulator to improve waiting times at a medical imaging center. In: Simulation Conference, 2008. WSC 2008. Winter. IEEE, 2008. p. 1572-1577.
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estatísticas da Saúde - Assistência Médico-Sanitária – 2009. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); 2009.
- [3] Duarte AF et al. Nasal endoscopy associated with paranasal sinus computerized tomography scan in the diagnosis of chronic nasal obstruction. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*, v. 71, n. 3, p. 361-363, 2005.
- [4] Menezes MR, Kay FU. Tomografia computadorizada multidetectores não-contrastada na avaliação do abdome agudo: Um novo paradigma no pronto-socorro?. *Radiol Brás.* 2006;39(2):IV-V.
- [5] Juchem BC et al. Contraste iodado em tomografia computadorizada: prevenção de reações adversas. *Rev Bras Enfermagem*, v. 57, n. 1, 2004.
- [6] Grimes SL, Painter FR. Equipment Replacement Planning. *Gestão de Tecnologias Médico-Hospitalares e Workshop Engenharia Clínica*, Florianópolis, 2006.
- [7] Coelli FC et al. Computer simulation and discrete-event models in the analysis of a mammography clinic patient flow. *Computer methods and programs in biomedicine*, v. 87, n. 3, p. 201-207, 2007.
- [8] Villamizar JR et al. Discrete-event computer simulation methods in the optimization of a physiotherapy clinic. *Physiotherapy*, v. 97, n. 1, p. 71-77, 2011.
- [9] Ferreira RB et al. Optimizing patient flow in a large hospital surgical centre by means of discrete - event computer simulation models. *Journal of evaluation in clinical practice*, v. 14, n. 6, p. 1031-1037, 2008.
- [10] Santos RP, Coelli FC, Pereira WCA, Almeida RMVR (2012). Simulação por Eventos Discretos Aplicada a um Serviço de PET/TC em um Hospital Oncológico. In: *Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica [CBEB'2012]*. p. 853-6.
- [11] Boland GWL, Houghton MP, Marchione DG, McCormick W. Maximizing Outpatient CT Productivity: The use of multiple technologists to increase patient throughput and CT capacity. *Journal of American College of Radiology*. 2008; 5: 119-125. EUA.
- [12] Santos RP, Coelli FC, Mamede M, Pereira WCA, Almeida RMVR (2010). Fluxo de Pacientes e Tempos de Exame Em Um Serviço de PET/TC em Implantação em um Hospital Oncológico. In: *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica [CBEB'2010]*. p. 592-5.