



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Biomédica

FERNANDA MORAES LOPES

**IDENTIFICAÇÃO DE ALTA DEMANDA DE MANUTENÇÃO
CORRETIVA EM EQUIPAMENTOS DE RADIODIAGNÓSTICO E
DETERMINAÇÃO DE DESEMPENHO ATRAVÉS DE FATOR DE
INFLUÊNCIA**

Uberlândia
2019

FERNANDA MORAES LOPES

**IDENTIFICAÇÃO DE ALTA DEMANDA DE MANUTENÇÃO
CORRETIVA EM EQUIPAMENTOS DE RADIODIAGNÓSTICO E
DETERMINAÇÃO DE DESEMPENHO ATRAVÉS DE FATOR DE
INFLUÊNCIA**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Ana Cláudia Patrocínio

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2019

Dedico este trabalho aos meus pais, Sandra e Luiz, ao meu irmão Leonardo e amigos, pelo incentivo, paciência e apoio suficiente para que esse trabalho fosse desenvolvido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à Universidade Federal de Uberlândia, que ao longo da minha formação ofereceu um ambiente de estudo criativo, motivador e repleto de oportunidades. Sou grata à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino por contribuírem com a minha formação pessoal e profissional.

Agradeço à empresa de diagnósticos por imagem por me conceder as fontes de dados utilizadas para a realização deste estudo. Obrigada pela oportunidade e por confiarem no meu trabalho. Sou grata também à grande gestora e mentora desta empresa que acompanhou de perto a realização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora Ana Cláudia Patrocínio por todo seu tempo, experiência, atenção e o suporte acadêmico durante o desenvolvimento deste estudo, me auxiliando sempre que necessário. Obrigada por possibilitar que este trabalho fosse realizado com a devida qualidade mesmo que realizado em sua maior parte à distância.

Agradeço ao Maicon Secchi por nunca me negar um apoio durante o desenvolvimento deste trabalho, por sempre me ajudar e por me incentivar.

Por fim, agradeço meus colegas da universidade por todo o companheirismo.

RESUMO

Os equipamentos de radiodiagnóstico possuem um papel de extrema importância para definições médicas, de forma que auxiliam diretamente nos diagnósticos e escolhas de tratamentos mais adequados. Desta forma, a sua utilização tem se tornado cada vez mais corriqueira e, devido ao seu impacto na saúde pública, entende-se que deve ser realizada uma gestão de manutenção destes equipamentos, garantindo a alta qualidade e confiabilidade dos exames realizados. O presente trabalho objetiva a avaliação de qualidade e desempenho dos modelos de equipamentos de radiodiagnóstico de um fabricante, de acordo com as demandas de manutenções corretivas, durante o período de um ano. Inicialmente realizou-se uma avaliação geral das modalidades de raios X, mamografia, tomografia computadorizada e terapias avançadas. Dentre estas modalidades, observou-se que a tomografia computadorizada é aquela que apresentou o maior número de ocorrências de manutenções corretivas por unidade de equipamento ativo. Portanto, ao realizar uma análise aprofundada destes equipamentos, constatou-se que não existe uma correlação entre as regiões brasileiras e as ocorrências de manutenção corretiva. Os equipamentos de tomografia computadorizada também foram separados por modelos e através da criação de uma métrica chamada de ‘Indicativo de ocorrência de manutenção corretiva (IOMC)’, foi possível interpretar a influência que a idade e o tamanho da base instalada do modelo têm sobre as incidências de manutenções corretivas. Os modelos de tomógrafos H, P, D, O e S não apresentaram um desempenho de acordo com o esperado, sendo que quatro destes modelos destacam-se por serem equipamentos relativamente novos, com até 7 anos de idade.

Palavras-chave: gestão de equipamentos médico-hospitalares, radiodiagnóstico, equipamentos de imagem, manutenção corretiva.

ABSTRACT

Radiodiagnostic systems play a very important role for medical definitions, in such way that they directly support the diagnosis and choices of appropriate treatments for a patient. Therefore, its use has become increasingly common and due to its impact on public health, it is understood that a maintenance management of those equipments must be well performed to guarantee a high quality and reliability of the diagnostics exams. The present work aims to evaluate the quality and performance of radiodiagnostics equipments of one company, in accordance with the demands of their corrective maintenance during the period of one year. Initially, a general evaluation of X-ray, mammography, computed tomography and advanced therapies modalities was carried out. Among those modalities, it has been observed that computed tomography presented the highest number of corrective maintenance occurrences per unit of active equipment. Thus, when conducting an in-depth analysis of these equipments, it was verified that there is no correlation between the Brazilian regions and the occurrences of corrective maintenance. CT scans were also separated by models and through the creation of a metric called 'Corrective maintenance occurrence indicative (IOMC)', it was possible to evaluate the influence by the age and size of the installed base into the incidences of corrective maintenance. The H, P, D, O and S models did not perform as expected, with four models being relatively new equipment, up to 7 years of age.

Keywords: management of medical equipments, medical imaging systems, corrective maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição dos equipamentos da base instalada por modalidade radiológica.....	40
Figura 2 - Distribuição das ocorrências de manutenção corretiva por modalidade radiológica.	41
Figura 3 - Comparação entre o número de equipamentos que apresentaram problemas ao longo do período analisado e o número de equipamentos ativos da base instalada.	42
Figura 4 - Porcentagem dos equipamentos ativos que apresentaram problemas ao longo do período analisado.....	42
Figura 5 - Análise de chamados de manutenção por status do equipamento de tomografia computadorizada no registro da ocorrência de manutenção corretiva.	47
Figura 6 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo A por idade.	51
Figura 7 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo B por idade.	52
Figura 8 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo C por idade.	53
Figura 9 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo D por idade.	54
Figura 10 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo E por idade.....	55
Figura 11 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo F por idade.....	56
Figura 12 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo G por idade.	57
Figura 13 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo H por idade.	58
Figura 14 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo I por idade.....	59
Figura 15 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo K por idade.	60
Figura 16 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo L por idade.....	61

Figura 17 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo M por idade.....	62
Figura 18 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo N por idade.	63
Figura 19 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo O por idade.	64
Figura 20 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo P por idade.....	65
Figura 21 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo Q por idade.	66
Figura 22 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo R por idade.	67
Figura 23 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo S por idade.....	68
Figura 24 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo T por idade.....	69
Figura 25 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo U por idade	70
Figura 26 - Influência da idade e do número de equipamentos ativos do modelo sobre as ocorrências de manutenção corretiva.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostragem dos modelos de equipamentos de tomografia computadorizada estudados neste trabalho.	35
Tabela 2 – Análise mensal das ocorrências de manutenção corretiva por modalidade radiológica durante o período de 01 de outubro de 2017 à 30 de setembro de 2018.	38
Tabela 3 - Quantidade total de equipamentos ativos e de ocorrências de manutenção corretiva por modalidade radiológica.	39
Tabela 4 - Análise regional de ocorrências de manutenções corretivas e equipamentos ativos no Brasil.....	44
Tabela 5 - Análise de incidências de manutenções corretivas e equipamentos ativos por estado brasileiro.	44
Tabela 6 - Características das manutenções corretivas de cada modelo de tomografia computadorizada do fabricante durante o período de 01 de outubro de 2017 à 30 de setembro de 2018.	49
Tabela 7 – Distribuição dos modelos de tomografia computadorizada por faixas etárias.	50
Tabela 8 – Análise do Indicativo de Ocorrência de Manutenção Corretiva e número de ocorrências de manutenção corretiva por modelo de tomógrafo.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AX – Terapias avançadas incluindo angiografia e arco cirúrgico

CT – Tomografia computadorizada

MM – Mamografia

RX – Raios X

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Objetivo	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1. Raios X.....	14
2.1.1. História dos raios X.....	14
2.1.2. Funcionamento do equipamento de raios X	15
2.1.3. O tubo de raios X.....	16
2.1.4. Efeito das radiações no corpo humano	18
2.1.5. Qualidade de Imagem.....	18
2.1.6. Tensão	18
2.1.7. Corrente-tempo.....	19
2.2. Tomografia Computadorizada	19
2.2.1. História da tomografia computadorizada	19
2.2.2. Fundamentos básicos da tomografia computadorizada.....	21
2.2.3. Gerações da tomografia computadorizada	23
2.3. Gestão de equipamentos médicos	27
3. METODOLOGIA.....	32
4. Resultados e Discussões.....	38
4.1. Análise geral dos equipamentos de radiodiagnóstico	38
4.2. Análise da modalidade tomografia computadorizada.....	43
4.3. Análise dos modelos de equipamentos de tomografia computadorizada.....	47
4.3.1. Modelo A.....	51
4.3.2. Modelo B.....	52
4.3.3. Modelo C.....	53
4.3.4. Modelo D.....	54
4.3.5. Modelo E	55
4.3.6. Modelo F	56
4.3.7. Modelo G.....	57
4.3.8. Modelo H.....	58
4.3.9. Modelo I	59
4.3.10. Modelo J.....	59
4.3.11. Modelo K	60
4.3.12. Modelo L.....	61
4.3.13. Modelo M.....	62
4.3.14. Modelo N	63
4.3.15. Modelo O	64
4.3.16. Modelo P	65
4.3.17. Modelo Q	66
4.3.18. Modelo R.....	67
4.3.19. Modelo S.....	68
4.3.20. Modelo T.....	69
4.3.21. Modelo U	70
4.3.22. Análise comparativa entre os modelos.....	70
5. CONCLUSÕES.....	74
6. REFERÊNCIAS	76

1. INTRODUÇÃO

A utilização de equipamentos de diagnóstico por imagem tem se tornado cada vez mais comum, de forma que segundo informações do DATASUS, no Brasil, entre os anos de 2008 e 2012, o número de equipamentos de imagem a cada 100.000 habitantes, incluindo mamografia, raios X, ressonância magnética, tomografia computadorizada e ultrassom, aumentou de 10,54 para 14,11 equipamentos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Estudos realizados na Carolina do Norte também concluíram que para um plano de saúde de larga escala, entre 1997 e 2006, o número de exames de tomografia computadorizada duplicou, enquanto o número de exames de ressonância magnética triplicou (SMITH-BINDMAN; MIGLIORETTI; LARSON, 2008).

O crescimento dos parques tecnológicos dos estabelecimentos de saúde está atrelado aos benefícios que estes sistemas podem trazer, de tal modo que auxiliam as decisões médicas com relação aos diagnósticos e tratamentos de um paciente. Entretanto, para que estes equipamentos possam de fato apresentar uma confiabilidade e assistir a equipe médica corretamente, deve ser garantida a calibração, a segurança, a qualidade e o bom funcionamento do sistema. Para que isto seja realizado com eficiência, é necessário que se tenha uma gestão de equipamentos médicos.

Os programas de gestão de equipamentos médicos têm como princípio planejar desde a aquisição de um equipamento até a sua utilização e alienação, sempre considerando a redução de riscos e a segurança dos pacientes (MAHFOUD; BARKANY; BIYAALI, 2016). Além destas questões, devem ser realizadas análises de custos e produtividade dos sistemas e seus respectivos sistemas de manutenção.

Embora as manutenções preventivas tenham um alto custo, elas tendem a ser 3 vezes mais econômicas, quando comparadas com as manutenções corretivas (ALMEIDA, 2009; CABRAL, 2009). Isso se deve ao fato de que, quando a manutenção é planejada com antecedência, a instituição estrutura todos os seus recursos para tal evento, garantindo a produtividade da máquina. O estabelecimento de saúde deve ajustar a manutenção para o período de menor fluxo de pacientes, além de não realizar o agendamento de exames durante os dias da manutenção, não causando situações desconfortáveis com os seus pacientes. Sob outro ponto de vista, a manutenção preventiva garante a operação do sistema em condições adequadas, garantindo a confiabilidade do equipamento e a sua segurança, evitando a

ocorrência de eventos adversos no ambiente clínico-hospitalar e eliminando a necessidade de repetição de exames.

A falha de um equipamento médico pode ocasionar na má qualidade de exames que, por consequência, influenciam erroneamente as decisões médicas de inúmeros diagnósticos e tratamentos. Além disto, estas falhas podem inclusive acarretar consequências irreversíveis para os pacientes. Visto que a manutenção corretiva é decorrente destes problemas inesperados, elas são fundamentais para a rápida resolução do problema em casos de quebra do equipamento e de extrema urgência.

Considerando a importância do gerenciamento de manutenção dos equipamentos, destaca-se também a relevância de estudos relacionados à qualidade e desempenho dos modelos de equipamentos ofertados no mercado, de forma que este fator pode influenciar nas estratégias de gestão de estabelecimentos de saúde. Diante de todas estas questões, observa-se a necessidade de estudar a eficiência de desempenhos dos modelos de equipamento, realizando um levantamento das manutenções corretivas de sistemas de radiodiagnóstico de um fabricante e uma caracterização da qualidade dos modelos de acordo com o seu desempenho.

1.1. Objetivo

Visando avaliar a qualidade e desempenho dos modelos de equipamentos de radiodiagnóstico por meio do entendimento dos impactos em qualidade, custos e produtividade dos processos de manutenção, este estudo propõe uma avaliação sobre as demandas de manutenções corretivas de equipamentos de radiodiagnóstico de uma empresa de fabricação e comercialização no período de um ano.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são apresentados os embasamentos teóricos acerca de questões e conceitos importantes para alcançar o objetivo propostos deste trabalho. Inicialmente, foi estudado o funcionamento dos equipamentos de radiodiagnóstico, os sistemas raios X e a tomografia computadorizada. Em seguida, foram estudadas metodologias de gestões hospitalares, em específico, a gestão de equipamentos médico-hospitalares.

2.1. Raios X

2.1.1. História dos raios X

Anteriormente à 1895, diversos pesquisadores realizaram estudos detectando o fenômeno que ficou conhecido, posteriormente, como os raios X. Entretanto, muitos destes cientistas elaboraram interpretações errôneas e inconsistentes, enquanto outros apenas ignoraram o respectivo evento (LIMA, 2009). Ao realizar um experimento com raios catódicos, em 1895, Wilhelm Conrad Roentgen se deparou com uma luminescência em uma tela fluorescente colocada a uma distância de até 2 m do tubo de Crookes (NERSISSIAN, 2012).

Desta forma, Roentgen realizou inúmeros experimentos que permitiram determinar que o brilho da tela era intensificado à medida que a tela fosse aproximada do tubo e que mesmo com o tubo envolto de papel preto ou com barreiras físicas entre o tubo e a tela tais como livros, metais, líquidos e madeiras, o brilho ainda era observado, apresentando uma alta capacidade de penetração conseguindo atravessar materiais mais densos. Durante este processo de colocar os materiais na frente do tubo para a realização dos experimentos, notou-se o contorno dos ossos de sua própria mão.

A imagem do osso da mão de sua mulher, Anna Bertha Roentgen, com seu anel de casamento é considerada a primeira radiografia de extremidade da história, e, certamente intitulada como a radiografia mais famosa. Para a realização desta imagem, foi necessário que a mão de sua esposa fosse exposta por cerca de 15 minutos sem se mexer. Este poder de atravessar o corpo humano ocasionou em impactos positivos na medicina, uma vez que, a partir desta descoberta, era possível verificar o interior do corpo sem a necessidade de realizar uma cirurgia e assim auxiliar em diagnósticos.

Este raio com alta capacidade de penetração foi denominado como raios X devido ao desconhecimento da sua origem, sendo mais tarde também chamado de raios Roentgen. Por esta descoberta, em 1901, Wilhelm Roentgen conquistou o 1º Prêmio Nobel de Física (LIMA, 2009).

No Brasil, os primeiros estudos e descrições dos raios X para fins de radiografia foi realizado em 1896 pelo professor Henrique Moriza da Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Neste mesmo ano, foram realizadas as primeiras radiografias e aplicações médicas no país (LIMA, 2009).

Diante deste cenário, esta tecnologia trouxe consigo um fascínio, sendo utilizada em diversas ocasiões do cotidiano e tornando-se uma prática comum na sociedade da época. As lojas, no geral, ofereciam raios X como uma maneira de atrair clientes. Em sapatarias, por exemplo, os clientes podiam experimentar os seus sapatos visualizando a imagem dos pés e o contorno do sapato. Também se tinha um modelo caseiro de raios X, o qual era divulgado como um brinquedo com a propaganda “faça você mesmo o seu raios X”. Sabendo que a prolongada exposição aos raios X levava à queda de cabelo, diversos tratamentos com raios X para remoção de cabelos indesejáveis na face eram oferecidos. Em contrapartida, algumas pessoas não aprovavam a nova tecnologia, pois sentiam-se ameaçadas uma vez que os raios X poderiam proporcionar imagens através dos muros de suas casas, invadindo as suas privacidades e intimidades (LIMA, 2009).

A grande maioria das pessoas eram consumidas por este fascínio e isto fazia com que ignorassem os riscos de exposição à esses raios. Desde 1896, um ano após a descoberta do método, já haviam alertas para o público sobre o perigo, principalmente, para os olhos. Entre final do século XIX e início do século XX, muitos estudiosos foram acometidos a consequências graves como queimaduras, úlceras, amputações e até mesmo mortes. Neste momento, começaram-se os primeiros relatos com relação à radioproteção (LIMA, 2009).

2.1.2. Funcionamento do equipamento de raios X

A radiação X nada mais é que uma onda eletromagnética cuja energia é alta o suficiente para quebrar ligações atômicas através de transferência de energia. Ela é produzida por meio de altas interações energéticas de elétrons com a matéria, convertendo energia cinética em radiação eletromagnética.

Visto que os equipamentos de raios X foram desenvolvidos para que um grande número de elétrons fosse produzido e acelerado, é necessário a utilização de um autotransformador específico para alteração da corrente e tensão provenientes da rede elétrica. Após a modificação, a tensão é fornecida a outro transformador que possui capacidades para elevar a tensão para a ordem utilizadas por estes sistemas, o quilovolt (kV). Da mesma forma, a corrente é aplicada à um transformador abaixador de tensão para que os valores se elevem.

De forma breve, no tubo de raios X, os elétrons são acelerados do catodo em direção do anodo, por conta da alta tensão aplicada. No momento em que os elétrons colidem com o anodo, eles interagem com o alvo do anodo e transferem a sua energia cinética para as estruturas dos átomos do alvo, resultando em 99% de energia em forma de calor e 1% em raios X (BUSHONG, 2010; NERISSIAN, 2012). Em seguida, os raios X são propagados em direção ao paciente e interagem com as suas estruturas. A radiação é então atenuada e a radiação transmitida resultante é utilizada para a formação da imagem. Este processo será abordado detalhadamente nos tópicos adiantes.

2.1.3. O tubo de raios X

O tubo de raios X trata-se de uma cápsula de vidro ou metal que apresenta a fonte de elétrons e o alvo dos elétrons, sendo, respectivamente, o catodo e o anodo. Esta cápsula apresenta a condição de vácuo com a finalidade de assegurar um isolamento elétrico e evitar colisões dos elétrons com moléculas de gás durante a trajetória entre o catodo e o anodo. Assim, obtém-se mais eficiência na produção de raios X, além de uma maior durabilidade do tubo.

Este componente é dificilmente visto pelo operador, uma vez que se encontra envolto por uma caixa protetora. Esta caixa exerce a função de isolamento, proteção e sustentação estrutural do tubo e é revestida inteiramente por chumbo, exceto na área determinada como janela, designada para a saída do feixe útil de raios X. Este revestimento tem a finalidade de bloquear e deter os raios X emitidos em outras direções, ou seja, a radiação fora do feixe útil. Os raios X que passam pela caixa de proteção são chamados de radiação de fuga, os quais podem acarretar na exposição desnecessária do paciente e do operador.

A tensão produzida pelo transformador elevador de tensão do gerador é aplicada no tubo de raios X para que os elétrons sejam produzidos e acelerados do catodo em direção ao anodo. A interação destes elétrons acelerados com o anodo proporciona o feixe útil de raios

X. Entretanto, ao mesmo tempo, também gera muito calor. Desta forma, é necessário que a cúpula que envolve o tubo de raios X tenha um sistema de resfriamento. Este resfriamento geralmente é feito através do óleo, água ou ar.

O pólo negativo do tubo de raios X é conhecido como catodo e possui a função de fonte de elétrons do tubo de raios X. Neste componente, para produção dos raios, encontram-se um ou dois filamentos, os quais são alimentados por um transformador abaixador de tensão que fornece uma diferença de potencial para produção da corrente configurada pelo operador no painel de controle do equipamento. Desta forma, os elétrons da camada mais externa do filamento são desprendidos e propagados na direção de uma pequena área do anodo. Este mecanismo é conhecido como emissão de termiônica.

Estes filamentos são incorporados em uma capa focalizadora, que tem o intuito de evitar o espalhamento do feixe de elétrons e, como o próprio nome sugere, focalizar o feixe de raios X em uma única área do anodo. A estrutura de focalização do filamento é baseada nos conceitos da Lei de Coulomb, onde a capa focalizadora é carregada negativamente induzindo a repulsão dos elétrons do filamento e definindo a trajetória do feixe de elétrons do catodo para o anodo.

Portanto, utiliza-se dois filamentos de tamanhos diferentes para que se tenha pontos focais distintos. O ponto focal menor está associado ao filamento pequeno e se destaca com relação à sua resolução espacial. Em contrapartida, o ponto focal maior, referente ao filamento grande, é priorizado quando necessita imagens de partes grandes do corpo ou quando a técnica utilizada produz um nível elevado de calor.

O anodo trata-se do pólo positivo do tubo de raios X e exerce a função de alvo do feixe de elétrons emitidos pelo catodo. Os elétrons ao colidirem com o disco do anodo, permitem a produção de raios X. Entretanto, apenas 1% da energia cinética dos elétrons projetados do catodo são convertidos em raios X, enquanto 99% da energia é transformada em calor (BUSHONG, 2010; NERISSIAN, 2012). Assim, entende-se que o anodo deve ter uma alta capacidade de dissipar o calor a fim de garantir um bom funcionamento do tubo de raios X.

Diante disso e sabendo que o calor deve ser conduzido para fora do sistema de forma rápida, o material do anodo deve, então, apresentar características de um bom condutor térmico. Para isto, os materiais mais comuns para esta aplicação são o tungstênio e a combinação deste material com o rênio, o qual forma uma liga ainda mais resistente. As particularidades determinantes para a escolha destes materiais são: o alto ponto de fusão,

suportando um alto índice de calor sem ocasionar danos no disco; a alta condutividade térmica, acarretando na rápida dissipação do calor e o alto número atômico, que proporciona a eficiência na produção dos raios X (BUSHBERG et al., 2001; HENDEE; RITENOUR, 2002; BUSHONG, 2010).

2.1.4. Efeito das radiações no corpo humano

Quando não controladas, as radiações ionizantes podem causar impactos prejudiciais ao paciente. Uma dose muito alta absorvida pelo tecido e/ou uma exposição muito prolongada à radiação, levando em consideração a área da exposição, pode acarretar na morte celular, queimaduras e mutações genéticas, conhecidas como câncer. Estes danos podem ser decorrentes tanto de efeitos estocásticos, ou seja, pelo acúmulo de radiação absorvida pelos tecidos ao longo dos anos, como de efeitos determinísticos, os quais são ocasionados por uma dose que ultrapassa o limiar de dose permitido (BUSHBERG et al., 2001; HENDEE; RITENOUR, 2002; BUSHONG, 2010).

2.1.5. Qualidade de Imagem

Para que se tenha uma boa qualidade de imagem é necessário levar em consideração a aplicação clínica do exame e ajustar diversos parâmetros que afetam esta imagem como tensão, corrente, tempo de exposição, distância entre o tubo de raios X e o paciente. Desta forma, para cada exame, estes devem ser estabelecidos pelo operador do equipamento. Além destes detalhes, os sistemas de filtragem também são de extrema importância para que se tenha uma qualidade eficaz da imagem. Entretanto, estes mecanismos, geralmente, são físicos e característicos de cada equipamento.

2.1.6. Tensão

Esta característica do sistema influencia a qualidade da imagem, visto que à medida que se aumenta a tensão aplicada ao tubo de raios X, a radiação gerada é intensificada, ou seja, os raios que incidem sobre o paciente se tornam mais energéticos, com uma maior aceleração e velocidade, atingindo o anodo com uma maior energia cinética. Esta alteração implica diretamente no poder de penetração dos raios X, sendo capazes de atravessar certas estruturas mais densas e espessas, aumentando os tons de cinzas e o contraste da imagem formada (BUSHONG, 2010).

2.1.7. Corrente-tempo

Ao multiplicar-se o valor da corrente pelo tempo de exposição definido, obtém-se o parâmetro conhecido como corrente-tempo (mAs). Tanto a corrente como o tempo de exposição são definidos separadamente pelo operador. Entretanto o resultado desta multiplicação é aquele que exerce uma influência sobre a qualidade da imagem produzida pelo equipamento de raios X (BUSHONG, 2010).

Esta técnica é utilizada para diminuir o borramento da imagem, de forma que a imagem referente ao contorno do osso seja mais nítida. A corrente está atrelada à quantidade de elétrons que serão emitidos do filamento do catodo em direção ao anodo e, portanto, o seu aumento resulta em uma maior radiação por área. O princípio do método corrente-tempo é diminuir o tempo de exposição para evitar a movimentação do paciente, sem alterar o produto corrente-tempo. Quando se trata de exames para partes moles, utiliza-se pouca corrente-tempo e muita tensão. Por outro lado, quando os exames são destinados para partes ósseas, usa-se muita corrente-tempo e pouca tensão (BALONI, 2012).

2.2. Tomografia Computadorizada

2.2.1. História da tomografia computadorizada

A tomografia computadorizada foi o primeiro método de diagnóstico por imagem que possibilitou a visualização e reprodução de seções do interior do corpo humano. Esta técnica foi introduzida no meio clínico há, aproximadamente, cinco décadas atrás pelo engenheiro eletrônico inglês da empresa EMI, cujo nome era Godfrey N. Hounsfield. Em conjunto com Hounsfield, o físico médico Allan M. Cormack também participou deste processo de criação, desenvolvendo toda a matemática utilizada na reconstrução das imagens. Estes dois pesquisadores receberam o Prêmio Nobel de Medicina em 1979 pela invenção e desenvolvimento da tomografia computadorizada (BUSHBERG et al., 2001).

Embora esta tecnologia tenha sido lançada apenas em 1972, as suas bases teóricas matemáticas foram apresentadas pelo australiano Radon cinquenta e cinco anos antes, em 1917. Com suas teorias, ele provou que uma imagem de um objeto desconhecido poderia ser reproduzida caso fosse conhecido um número infinito de projeções deste mesmo objeto. Os métodos matemáticos sem dúvidas foram um dos pilares de extrema importância e relevância

desta tecnologia. Todavia, a base primordial de destaque, como o seu próprio nome diz, foi a utilização de computadores (HENDEE; RITENOUR, 2002).

Graças ao desenvolvimento dos computadores, a tomografia computadorizada se tornou possível, tendo em vista as necessidades de processamentos de um imenso volume de dados gerados em um único exame. O computador, na tomografia computadorizada, é considerado o componente centralizador de todos os mecanismos deste método, sendo através dele realizados todos os comandos e reconstruções matemáticas.

O primeiro tomógrafo computadorizado comercializado, conhecido como EMI Mark 1, era designado exclusivamente para os estudos da cabeça e produzia imagens com uma baixa resolução espacial, sendo proporcionado uma matriz equivalente a 80 x 80 pixels (BUSHBERG et al., 2001; GIRALDO; CLAVIJO; MCCOLLOUGH, 2008). Em questões de velocidade do escâner, para cada corte era necessário, aproximadamente, 4,5 minutos de escaneamento e 1,5 minutos de reconstrução da imagem (BUSHBERG et al., 2001). Levando em consideração que o sistema EMI Mark 1 necessitava de 180 translações, onde cada uma deveria ser separada entre si por uma rotação de um grau, e que cada translação durava em média 6 minutos, pode-se entender a complexidade do exame (BUSHONG, 2010). Segundo Giraldo, Clavijo e McCollough (2008), para um exame total do cérebro humano demorava em média nove horas para a finalização do procedimento. Apesar destes pontos, a tomografia computadorizada representou um marco na história da radiologia.

Ao comparar esta tecnologia com a radiografia convencional, destaca-se três pontos de ganhos. O primeiro deles diz respeito às informações tridimensionais serem projetadas em uma imagem bidimensional, sendo apresentadas em cortes finos da estrutura e pela colimação dos feixes de raios X. Desta forma, se evita a superposição de anatomias e os efeitos de espalhamento. O segundo tópico é com relação ao receptor de imagem, o qual na tomografia é muito mais sensível a pequenas diferenças nas intensidades da radiação incidente. Destaca-se que para a radiografia convencional é possível determinar tecidos que tenham uma diferença de no mínimo 10% em densidade, enquanto a tomografia computadorizada consegue detectar diferenças de densidade entre tecidos de 1% ou menos. A terceira vantagem da tomografia é a capacidade de realizar ajustes nas imagens após ter sido realizada a aquisição, sendo conhecida como o pós-processamento. Dentre as opções de manipulação da imagem, é possível alterar brilho, granulações, contraste, realces de borda e aumento de regiões específicas (HENDEE; RITENOUR, 2002; RODRIGUES; VITRAL, 2007).

Em contrapartida, a tomografia computadorizada apresenta uma resolução espacial pior que a radiografia (HENDEE; RITENOUR, 2002), sendo o fator que determina a capacidade de diferenciar dois pontos muito próximos entre si e que influencia no borramento da imagem. Ainda que esta tecnologia apresente esta desvantagem com relação aos raios X, ela possui superioridade de contraste e sensibilidade e também possibilita a visualização de todos os planos da anatomia humana, apresentando benefícios impactantes no auxílio de diagnósticos.

2.2.2. Fundamentos básicos da tomografia computadorizada

A técnica utilizada pela Tomografia Computadorizada é baseada nos raios X e em reconstruções matemáticas através de computadores. Os componentes principais desta modalidade são: mesa do paciente, Gantry, onde se localizam os detectores e os tubos de raios X e computadores.

O seu funcionamento básico consiste no acionamento da fonte de raios X, no mesmo momento em que a fonte realiza um movimento circular ao redor do paciente, emitindo um feixe de raios X. Este feixe é colimado em direção ao paciente e pode ser utilizado na Tomografia em duas projeções geométricas. A geometria mais básica é aquela em que os raios são projetados paralelamente entre si, enquanto a outra é aquela na qual os raios apresentam um determinado ângulo entre si, formando feixes com uma projeção divergente, que se assimilam a um leque. Visto que o propósito do escâner é adquirir um grande número de dados através das diferentes posições do objeto em estudo, esta última técnica é a mais utilizada para os processos de aquisição e reconstrução dos tomógrafos mais modernos (BUSHBERG et al., 2001).

Ao ser realizada uma varredura ou translação através do objeto em estudo, radiação proveniente da fonte de raios X é atenuada pela estrutura deste objeto de acordo com a sua densidade de massa. Diferente dos raios X, a radiação não é incidida sobre o filme radiográfico, mas sobre um sensor, conhecido como detector. O detector se encontra localizado dentro do Gantry e do lado oposto ao tubo de raios X. Ele é responsável por receber a radiação atenuada pelo objeto em estudo e transformá-la em um sinal elétrico, o qual é convertido em imagem digital e transmitida para o computador. A intensidade da radiação detectada pelo detector varia de acordo com a atenuação dos raios X no objeto ao longo da linha entre o ponto focal da fonte e o ponto do detector, sendo representada, após a

reconstrução 2D, em uma escala que varia entre tons de cinza claro ao preto, conhecida como Hounsfield.

Após a varredura de uma seção, o tomógrafo se movimenta de forma que seja possível realizar a próxima aquisição. Para os primeiros tomógrafos, era necessário que a fonte de raios X e o detector retornassem à suas posições iniciais para evitar que os fios e cabos do equipamento impedissem o movimento destas estruturas e atrapalhassem a aquisição. Para os tomógrafos mais atuais, a fonte e o detector não têm esta necessidade. Entretanto é necessário que o Gantry ou a mesa do paciente se movimente levemente na direção z do escâner a fim de se realizar a varredura de outras fatias do objeto. Durante a segunda varredura, o detector novamente receberá o sinal proporcional à atenuação dos raios X pelo objeto e a segunda projeção será formada. Esse método deve ser repetido inúmeras vezes para que sejam produzidas diversas projeções e, a partir de um processamento computacional, as projeções são superpostas para reconstruir uma imagem das estruturas do corte.

Os sinais adquiridos na varredura, ao serem enviados para o computador, são reconstruídos e formam uma imagem bidimensional (2D) que corresponde a uma seção de dados do objeto em estudo. Mesmo a tomografia computadorizada sendo uma tecnologia voltada para visualização de volumes, a sua aquisição é realizada em 1D, reconstruída em um plano 2D e, posteriormente, processada e visualizada em 3D. O processo computacional da imagem obtida por uma tomografia, reverte os dados de aquisição na geometria de aquisição através de algoritmos e métodos matemáticos.

Desta forma, quando os sinais adquiridos são reconstruídos em um plano bidimensional, obtém-se uma representação em escala de cinza correspondente ao coeficiente de atenuação do objeto de estudo, conhecido como pixels. Uma matriz de pixels de uma imagem de tomografia computadorizada corresponde a um número de voxels 3D no objeto de estudo. O voxel é um elemento de volume e possui as mesmas dimensões do plano que um pixel, porém também considera a dimensão de espessura.

De acordo com a literatura, desde a primeira tomografia computadorizada lançada em 1972, foram registrados diversos estudos e avanços que deram origem ao que chamamos de gerações de tomógrafos computadorizados. Cada geração tinha o principal intuito de diminuir o tempo de aquisição e para isto foram realizadas, por exemplo, modificações e desenvolvimentos na geometria de aquisição, tecnologia do detector e design dos tubos de raios X. Atualmente, os modelos de tomografia mais modernos conseguem realizar reconstruções de imagens até mesmo em tempo real (BUSHBERG et al., 2001).

2.2.3. Gerações da tomografia computadorizada

Primeira geração

A primeira geração de tomógrafos computadorizados é caracterizada pela emissão de um feixe de raios X colimado, onde os feixes apresentavam uma geometria paralela entre si, e pela combinação de movimentos de translação e rotação da fonte de raios X e do detector em torno do objeto de estudo. Esta movimentação tinha a finalidade de adquirir um grande volume de dados em diferentes angulações e auxiliar na aquisição de projeções suficientes para a reconstrução da imagem.

Apenas dois detectores eram utilizados e, por consequência, realizavam as medições da intensidade do feixe de raios X em apenas dois cortes. Para cada projeção era necessário que o único detector (por fatia) e o tubo de raios X fossem movimentados manualmente e posicionados em todas as posições fundamentais. Devido ao fato de que se utilizava apenas um único detector e que os feixes de radiação eram paralelos, um detector recebia informações de apenas um único feixe e por isto, o número de movimentações que deveriam ser realizadas era muito alto. Assim, para cada projeção era necessário realizar incrementos de um grau até se obter as 180 projeções necessárias para a reconstrução das imagens.

Pelo mesmo motivo de um único detector adquirir a intensidade de apenas um único feixe de radiação, um feixe de radiação desviado não era mensurado por este detector e, assim, evitava-se os efeitos de espalhamento na imagem. Entretanto, a principal desvantagem desta geração era com relação ao tempo para realizar a produção de uma única imagem, sendo este aproximadamente de 4 a 5 minutos (HENDEE; RITENOUR, 2002; BUSHONG, 2010).

Esta geração, apesar de apresentar algumas limitações e ser considerada como um projeto de demonstração, foi essencial para introduzir a ideia de que seria possível obter resultados extraordinários de uma tecnologia que envolve, principalmente, uma movimentação mecânica da fonte de raios X e do detector e a utilização do computador para processamento de reconstruções e produção da imagem.

Segunda geração

O destaque da segunda geração de tomógrafos se dá pela utilização de feixes de raios X em formato de leque e pela incorporação de um conjunto de múltiplos detectores. Graças a estas modificações, o tempo de aquisição foi reduzido significativamente e a potência da

radiação emitida foi melhor aproveitada ao se comparar com a primeira geração destes sistemas.

De acordo com Bushberg *et al.* (2001), ao aumentar substancialmente o número de detectores de dois para aproximadamente 30, multiplicou-se em 30 vezes a utilização do feixe de raios X. Consequentemente, passou-se a aplicar uma angulação de rotação maior entre as aquisições das projeções uma vez que uma única translação se equivalia a uma mesma quantidade de informações obtidas com várias translações de primeira geração. Com isto, era esperado uma redução no tempo equivalente a 30 vezes, porém não se considerou que o número de dados adquiridos também aumentariam. Contudo, os tomógrafos de segunda geração eram 15 vezes mais rápidos que os da primeira geração mesmo que ainda demorassem, em média, 18 segundos por fatia para realizar a aquisição.

A utilização de múltiplos detectores não seria eficiente caso a técnica de feixes de raios X em leque também não tivesse sido implementada. Esta técnica permitiu que os feixes atingissem múltiplos detectores e não apenas um, possibilitando a medição da intensidade dos feixes simultaneamente. Portanto, pode-se afirmar que este método também teve uma influência no incremento da angulação entre os cortes.

Ao comparar com a técnica de um feixe único colimado, no qual os feixes são paralelos entre si, os feixes em geometria de leque produzem mais radiações dispersas devido às angulações entre um feixe e outro. Entretanto, esta funcionalidade também foi crucial para a melhora da qualidade da imagem, reduzindo os efeitos de movimentos dos escâneres de tomografia.

Terceira geração

Diferentemente das duas primeiras gerações, a terceira geração de tomógrafos computadorizados elimina totalmente o movimento de translação e conta exclusivamente com os movimentos de rotação do tubo de raios X e da série de detectores, conhecido como multi-detector. Introduzida em 1975, com o intuito de se obter uma maior velocidade de aquisição das imagens, estes modelos conseguem realizar a varredura em tempos tão curtos quanto um segundo e ainda é considerada uma tecnologia viável e muito utilizada nos dias atuais (BUSHBERG et al., 2001; GIRALDO; CLAVIJO; MCCOLLOUGH, 2008).

Com a finalidade de possibilitar a eliminação do movimento translacional, o número de detectores empregados nos escâneres aumentou drasticamente, para mais de 800 detectores (BUSHBERG et al., 2001) e a amplitude dos feixes em forma de leque tornaram-se maiores.

Assim, a série de detectores era grande o suficiente para possibilitar que o feixe de radiação englobasse o corpo inteiro do paciente, sendo visto a todo momento.

Nesta configuração, o tubo de raios X e a série de detectores realizam o movimento de rotação simultaneamente dentro do gantry, sendo mecanicamente conectados e garantindo uma distância constante entre estes elementos. Isto influencia diretamente na redução dos efeitos de radiação espalhada. Contudo, isto também significa que cada detector mede somente os raios que ultrapassam a uma distância específica do centro de rotação, e caso haja qualquer falha em um dos detectores, pode-se obter um artefato em forma circular na imagem reconstruída, chamado de artefato de anel.

Quarta geração

Um ano após a apresentação da terceira geração de tomógrafos, a quarta geração foi introduzida com o objetivo de acabar com os problemas de artefatos de anéis. Para isto, adotou-se uma geometria rotatória – estacionária, na qual os detectores são fixos e preenchem um círculo em torno do paciente. Uma vez que os detectores são dispostos em torno de todo os 360 graus, é necessário um número muito alto de detectores, o que encarece bruscamente este tipo de tecnologia.

A rotação deste modelo se limita ao tubo de raios X, que por sua vez, emite um feixe de radiação conforme o da terceira geração, em formato de leque. Neste caso, como os detectores não se movimentam de acordo com o tubo, um detector pode medir raios que estão a qualquer distância do centro de rotação e, desta forma, mesmo se um dos detectores estiver descalibrados, não será formado o artefato de anel na imagem reconstruída (BUSHBERG et al., 2001; HENDEE; RITENOUR, 2002; BUSHONG, 2010).

Quinta geração

Em 1980, oito anos após o lançamento do primeiro tomógrafo, a quinta geração foi desenvolvida especificamente para os estudos tomográficos cardíacos e ficou conhecida como “escâner cine CT”. Visto que se trata-se de um modelo desenvolvido exclusivamente para a cardiologia, ele apresenta uma alta resolução temporal, tornando-se suficiente para adquirir imagens do coração. Destaca-se que a sua maior característica se verifica pela não utilização de um tubo de raios X convencional, mas por um arco de tungstênio em torno do paciente (BUSHBERG et al., 2001; HENDEE; RITENOUR, 2002; BUSHONG, 2010).

Devido a este arco, este modelo utiliza uma arquitetura estacionária, na qual o gantry não se movimenta, e por este fator não é possível empregar-se a tecnologia de detectores anti-dispersão. Ademais, o uso deste modelo também foi limitado pela restrição da trajetória à apenas 220 graus e pela não compatibilidade do plano com o plano dos detectores.

Sexta geração

A sexta geração de tomógrafos foi introduzida em 1989 e é muito utilizada atualmente para os escâneres com a arquitetura de terceira geração (Wiley 2002, Espanhol). Comumente denominada como tomografia helicoidal, neste método, enquanto o tubo de raios X se movimenta em torno do paciente para realizar a varredura dos dados, a mesa do paciente é movida de forma contínua e lenta através da abertura do gantry. Desta maneira, como efeito colateral, o tubo de raios X e os detectores passam a seguir uma trajetória helicoidal em torno do paciente. Para que se realize uma aquisição precisa e sem artefatos de imagem, é importante levar em consideração a razão estabelecida entre a velocidade que a mesa do paciente se desloca com relação ao gantry, sendo mensurada pelo que chamamos de *pitch*.

O *pitch* é uma variável utilizada para as tomografias helicoidais, definida na literatura como a distância em que a mesa se movimenta durante uma rotação do gantry dividida pela espessura do corte determinada pelo colimador. Geralmente o valor desta métrica varia entre 1 e 1,5 com a finalidade de garantir um alcance aceitável do corpo do paciente. Um *pitch* que apresente o valor maior que uma unidade, há a necessidade de interpolação de dados para se preservar a resolução da imagem. Já um *pitch* com valor muito pequeno, resulta em uma resolução espacial excelente, porém acarreta em altas doses de radiação e tempo de aquisição mais longos.

Por conta dos incrementos de movimentação da mesa do paciente para a próxima posição de aquisição, o tempo de varredura tornou-se relativamente mais longo. Para a resolução desta questão, na sexta geração de tomógrafos houve a incorporação de uma inovação chamada de anel deslizante (*slip ring*, em inglês). Esta técnica consiste em uma conexão circular do tubo de raios X com escovas deslizantes que permite que o gantry gire ininterruptamente, substituindo a utilização de cabos e fios. Assim, se elimina os tempos de ajuste do gantry entre a aquisição de cada corte e, portanto, diminuiu-se o tempo total de varredura. Este tempo total de varredura, ao comparar com escâneres de terceira ou quarta geração, identifica-se que o tempo da sexta geração é metade ou menos que os outros dois.

Esta tecnologia trouxe diversas vantagens quando comparada com a tomografia computadorizada convencional, dentre estas ressalta-se a redução de artefatos dados pela movimentação do paciente, diminuição da dose de radiação exposta ao paciente e melhora nas reconstruções tridimensionais e multiplanares. Além disto, este método apresentou uma resposta mais rápida ao contraste, permitindo uma redução do volume de contraste necessário para uma aquisição mais considerável do volume do paciente, e uma ausência de distorção, possibilitando a medição de distâncias e deslocamentos através do computador. Contudo, um dos problemas encontrados pela sexta geração de tomógrafos, foi a questão do sobreaquecimento dos tubos de raios X quando se desejava uma maior resolução espacial com cortes mais espessos.

Sétima geração

Conhecida como tomografia multicortes, a sétima geração de tomógrafos foi apresentada em 1998 e consiste na utilização de um escâner de terceira geração com capacidades helicoidais e com quatro séries de detectores. Como o feixe de raios X aplicado nesta técnica apresenta o formato de leque, esta configuração permite coletar quatro cortes simultaneamente em apenas uma rotação do tubo de raios X. Por este motivo, o número de rotações necessárias para realizar um único exame é reduzido e, conseqüentemente, diminui-se o tempo de aquisição significativamente e reduzindo 40% da dose de radiação exposta ao paciente (RODRIGUES; VITRAL, 2007).

O aumento da eficiência desta tecnologia permitiu uma maior flexibilidade de protocolos de aquisição e, portanto, uma melhor qualidade da imagem. Entretanto, para isto o número de parâmetros adquiridos durante a varredura aumentou, gerando algumas limitações com relação ao processamento dos dados. Além disto, com as modificações estabelecidas neste modelo, principalmente com a implementação de quatro séries de detectores, os custos deste tipo de tomógrafo tornaram-se substancialmente maiores.

2.3. Gestão de equipamentos médicos

Nos dias atuais, é difícil imaginar um ambiente médico-hospitalar sem equipamentos médicos, de forma que estas tecnologias se encontram praticamente em todos os ambientes hospitalares, sendo desde monitores multiparâmetros e esfigmomanômetros até sistemas mais sofisticados de ressonâncias magnéticas e tomografias computadorizadas (MAHFOUD;

BARKANY; BIYAALI, 2016). Estes equipamentos são ferramentas fundamentais e de extrema importância para auxílio de diagnósticos, decisões e tratamentos médicos, de forma que influenciam diretamente os cuidados a serem tomados no que diz respeito à saúde dos pacientes. Quando seguidas as exigências da ANVISA com relação à qualidade e segurança, estas tecnologias viabilizam uma melhor qualidade do serviço de saúde ao usuário (LOPES, 2015; ALMEIDA; SILVA, 2016).

Com o intuito de melhorar as técnicas hospitalares e o atendimento ao usuário, os equipamentos médico-hospitalares e as instituições de saúde têm se tornando cada vez mais tecnológicos e se adequando às soluções mais digitais, de forma que apresentam uma maior complexidade e dificuldade de controle (MWANZA; MBOHWA, 2015). Desta forma, é necessário que a gestão hospitalar seja realizada adequadamente de maneira rígida, visando garantir que as inovações promovam mudanças produtivas e lucrativas para todos os envolvidos e que a qualidade do serviço de saúde seja mantida ou melhorada.

Visto que se tem uma gama imensa de equipamentos médico-hospitalares e que eles proporcionam um impacto no dia a dia clínico, a gestão dos equipamentos é fundamental para que seja garantido a eficiência de uma organização. Sendo considerada uma das principais subáreas da gestão hospitalar, o gerenciamento dos equipamentos médicos é caracterizado pela aplicação de conhecimentos de engenharia e práticas de gestão aplicadas à tecnologia da saúde (MANSO, 2012). A gestão de equipamentos médicos engloba todo o ciclo de vida um equipamento médico, de forma que envolve tanto os processos de previsão de aquisição de um novo sistema como a sua utilização e o seu descarte ou renovação (MEDEIROS, 2015). Pode-se definir gestão de equipamentos como as estratégias necessárias para garantir um controle de manutenção e equilíbrio financeiro, alcançando a satisfação do utilizador, a diminuição de custos e aumento da qualidade (MANSO, 2012; ALMEIDA; SILVA, 2016).

Durante a aquisição de novo equipamento, contempla-se as análises das especificações técnicas e estruturais que devem ser atendidas pelo estabelecimento de saúde e pesquisas de ofertas do sistema que se deseja adquirir. Além de avaliar as questões do equipamento como marca, preço, funcionalidades e qualidade, deve-se atentar também aos serviços oferecidos pelo fabricante, como contratos de manutenção, serviço de garantia estendida, valor das peças para manutenção, além de treinamentos técnicos e operacionais (BRONZINO, 1992). Após este período, têm-se incorporação da tecnologia dentro da instituição, a qual envolve a instalação do equipamento e o treinamento técnico e operacional dos profissionais que utilizarão a máquina.

Na fase de utilização do equipamento, devem ser realizados planejamentos quanto às manutenções preventivas e corretivas dos equipamentos (BRONZINO, 1992), de forma a controlar todas as incidências e contratos atuantes. Também devem ser realizadas medidas para garantir a calibração dos sistemas de acordo com os padrões estabelecidos pelas normas técnicas e/ou fabricante. Os equipamentos devem ser inseridos em um inventário bem como os seus acessórios e componentes, sendo sempre atualizado. Além disto, devem ser gerados relatório e análises periódicas com relação à eficiência do equipamento, sempre verificando questões de obsolescência (MANSO, 2012; LOPES, 2015). Ao determinar que o sistema deve ser renovado ou alienado, devem ser realizados estudos para verificar a viabilidade financeira e logística de descarte do equipamento.

Para que se tenha uma gestão de equipamentos de qualidade, é desejável que se tenha uma minimização dos custos de forma a garantir uma alta produtividade (MANSO, 2012). As manutenções dos equipamentos são atividades que geram custos para a instituição, entretanto são de extrema importância para impedir o mau funcionamento dos mesmos e garantir a máxima confiabilidade nos resultados obtidos. Uma vez que a instituição entrega ao paciente um serviço de qualidade, ela fideliza o cliente e isto traz um retorno financeiro positivo. Por outro lado, caso a máquina pare de funcionar de forma inesperada, a instituição deixa de atender pacientes por falta de recursos e deixa também de se beneficiar financeiramente. Desta forma, é importante que as manutenções sejam bem controladas e planejadas para que não ocorram inconveniências (MANSO, 2012).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em 1994, pela norma NBR-5462, definiu o termo manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinada a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 2004; LOPES, 2015). A manutenção trata-se de uma atividade que visa manter as boas condições de funcionamento do equipamento de forma que aumente a sua confiabilidade e a disponibilidade, diminuindo a recorrência de falhas (MWANZA; MBOHWA, 2015). Em ambientes hospitalares, existem duas formas tradicionais de manutenção: a manutenção corretiva e a manutenção preventiva.

A manutenção preventiva tem como finalidade de reduzir a probabilidade de ocorrências de falhas ou degradação operacional nos equipamentos, de forma que as manutenções são pré-planejadas e ocorrem em determinados intervalos de tempos (LIMA; SANTOS; SAMPAIO, 2010; LOPES, 2015). Sucintamente, a manutenção preventiva de equipamentos médicos abrange serviços de limpeza do equipamento, inspeção visual e

elétrica, troca de peças pré-determinadas pelo fabricante e testes de verificação funcional (MEDEIROS, 2015).

Este tipo de manutenção deve ser programada estrategicamente de forma a evitar a sua execução em períodos de alta demanda hospitalar e produção plena, minimizando as perdas com a parada total do equipamento e mantendo a qualidade de atendimento ao usuário (LIMA; SANTOS; SAMPAIO, 2010). Para diversos autores, a manutenção preventiva é considerada como a forma mais eficaz de se obter melhores resultados, pois auxilia na diminuição de falhas dos sistemas, aumentando a produtividade do equipamento e reduzindo custos de operação do mesmo, além de ter um impacto direto no prolongamento da vida útil do sistema (MANSO, 2012).

A manutenção corretiva trata-se de uma manutenção não programada, que é definida como um procedimento efetuado, logo após uma falha do funcionamento do equipamento e que pode ocorrer a qualquer momento da vida útil do equipamento. Geralmente, a manutenção corretiva apresenta um carácter de urgência, visto que visa evitar consequências irreversíveis. No caso de estabelecimentos de saúde, esta característica de atendimento imediato é ainda mais reforçada, de forma que o não funcionamento do equipamento pode comprometer tanto o tratamento e diagnóstico do paciente até à perda do cliente pela falta de confiança no estabelecimento de saúde (MANSO, 2012; LOPES, 2015).

Durante a manutenção corretiva de equipamento médico-hospitalares, são realizadas trocas ou reparos de peças do equipamento e acessórios, calibrações, aferições e testes funcionais (MEDEIROS, 2015). Este tipo de manutenção, geralmente, requer custos altíssimos relacionados ao estoque de peças, trabalho extra, custo ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção. Além disto, este custo tende a aumentar caso o tempo da manutenção seja prolongado pela falta de peças ou falha da equipe de manutenção.

De acordo com Cabral e Almeida, os custos relacionados à manutenção corretiva tendem a ser de 3 a 4 vezes mais elevados que os custos associados à manutenção preventiva. Além disto, Cabral afirma que a manutenção preventiva causa impactos positivos na vida útil de um equipamento, de forma que quando seguido adequadamente os procedimentos de manutenção preventiva, o equipamento pode durar de 30% a 40% a mais do que um equipamento mal mantido (CABRAL, 2009; ALMEIDA, 2009).

Para uma manutenção eficaz, requer-se que diversos aspectos que englobam custos, riscos, recursos e desempenho sejam analisados para que se tenha uma solução ideal. Diante de tal complexidade, faz-se necessário a elaboração de um programa de gestão de manutenção

bem estruturado, envolvendo procedimentos e estratégias que visam suportar as instituições de saúde nas tomadas de decisão sobre gestão de um equipamento, prolongando a vida útil do dispositivo e minimizando os custos (LOPES, 2015).

A gestão de equipamentos, em sua grande maioria, é realizada através de ferramentas de software, rotinas administrativas, manuais, rotinas de calibração, aferição e simulação. Para a implementação de sistemas informacionais, é necessário que se tenha informações detalhadas sobre os procedimentos realizados e sobre os equipamentos existentes na instituição. Além destes dados, segundo Medeiros (2015), a Organização Mundial de Saúde – OMS descreve um sistema de classificação dos equipamentos baseado na avaliação da função, risco e necessidade de manutenção do dispositivo. Estes sistemas computacionais também podem conter ferramentas úteis para a área que envolvem manuais técnicos, programas de manutenções, procedimentos operacionais padrão, relatórios para análises, entre outros.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os métodos de pesquisa utilizados neste estudo. Todos os dados deste trabalho foram fornecidos por uma empresa de equipamentos médicos de diagnósticos por imagem, no período de um ano compreendido entre 01 de outubro de 2017 e 30 de setembro de 2018.

Inicialmente, foram analisadas as seguintes modalidades de equipamentos de radiodiagnósticos: Raios X, Mamografia, Tomografia Computadorizada e Terapias Avançadas (Angiografia e Arco Cirúrgico). Para estas modalidades, foram coletados dados relacionados às ocorrências das manutenções corretivas e à atual base de equipamentos ativos desta marca no Brasil.

A base de ocorrências das manutenções corretivas continha informações sobre o número de rastreabilidade da ocorrência, também referido neste trabalho como “número do chamado”; a data de início e data de fim deste chamado de manutenção; o modelo do equipamento; o número do equipamento, o qual é único para cada equipamento e permite a sua identificação; a região brasileira onde está alocado o equipamento; a descrição do problema do equipamento para realização da manutenção corretiva; e, por fim, o estado em que a máquina se encontrava no momento da abertura da ocorrência, podendo ser classificada em 3 estados: “Máquina parada”, “Máquina parcialmente operacional (com limitações de funcionamento)” e “Máquina operacional”.

A base de equipamentos ativos no Brasil, também chamada de ‘base instalada’, trata-se da representação de todas as unidades dos equipamentos que estão atualmente em uso, desconsiderando-se os equipamentos que já foram descartados. Esta base foi extraída no dia 21 de novembro de 2018 e nela contém todas as informações relacionadas à cada um dos equipamentos, onde cada linha da planilha representa um equipamento, o qual é identificado pelo “número do equipamento”. Além disto, para cada linha, contém-se as seguintes informações: modelo do equipamento, lote do equipamento, data em que o equipamento foi finalizado pela fábrica, data em que o equipamento foi entregue ao cliente, localização deste equipamento e se existe um contrato de manutenção em vigência ou não.

Devido falta de informações sobre a gestão e manutenção dos equipamentos que não possuem um contrato de manutenção com a empresa, o estudo foi restringido apenas aos equipamentos que possuem contratos de manutenção ativos.

Na planilha de base instalada, foi realizada uma busca pelos equipamentos que possuem contratos de manutenção ativos e os números de equipamento resultantes foram comparados com os números de equipamento da base de ocorrências de manutenção corretiva. Desta forma, foram desconsiderados todos os equipamentos com contratos de manutenção inativos de ambas as bases de dados. No total, foram desconsiderados 235 chamados de manutenção corretiva da base de ocorrências de manutenção corretiva.

A partir de um padrão estabelecido pela empresa, os modelos dos equipamentos foram classificados e organizados de acordo com a modalidade de radiodiagnóstico, categorizando-os em: MM - Mamografia, RX - Raios X, AX - Terapias Avançadas (Angiografia e Arco Cirúrgico) e CT - Tomografia Computadorizada. Esta categorização foi realizada para todas as ocorrências de manutenção corretiva a fim de possibilitar análises por modalidades.

Para cada equipamento da base instalada foi determinada a sua respectiva idade, conforme a Equação 1, onde a variável *dlf* significa a data em que o equipamento foi liberado pela fábrica e *dfc* refere-se a data de finalização das coletas dos dados de ocorrências de manutenção corretiva (dia 30 de setembro de 2018). A média de dias no ano, utilizada para realizar estes cálculos, foi 365 dias. Para os equipamentos não tinham o registro da data em que foram finalizados pela fábrica, não foi possível calcular idade correta, sendo todos estes casos relacionados à equipamentos de raios X. Entretanto, não houve o descarte de dados pois nos estudos iniciais, a idade não era uma característica relevante de análise e nos estudos posteriores, os quais interpretaram dados mais profundos como a idade dos equipamentos, a modalidade de raios X não foi estudada.

$$Idade\ do\ equipamento = \frac{dlf - dfc + 1}{média\ de\ dias\ no\ ano} \quad (1)$$

Diante destas informações, foram analisadas as incidências mensais de manutenção corretiva para cada modalidade e obtido a média de ocorrências por mês, dividindo a soma total de chamados pelo número de meses analisados. Também foi realizada uma análise do total das incidências dos chamados de manutenção corretiva por modalidade radiodiagnóstica, observando-se a representatividade das ocorrências de manutenção corretiva de cada modalidade, diante do total de chamados de manutenção, onde o número de chamados por modalidade foi dividido pela soma total de chamados e multiplicados por 100, resultando em porcentagem.

Para a base instalada, verificou-se quantos equipamentos pertencem a cada modalidade e o quanto isto representa do total geral de equipamentos ativos, em porcentagem.

Assim, dividiu-se o número de equipamentos por modalidade pela soma total de equipamentos e multiplicou-se por 100, obtendo-se valores em porcentagem.

As duas fontes de dados foram correlacionadas (base de ocorrências de manutenção corretiva e base de equipamentos ativos), dividindo-se para cada modalidade radiológica o número de chamados de manutenção corretiva pelo número de equipamentos presentes na base instalada, obtendo-se uma proporção média de manutenções corretivas por equipamento. Tendo em vista que um chamado de manutenção corretiva pode ocorrer mais de uma vez para o mesmo equipamento, realizou-se uma análise eliminando todos os números de equipamentos duplicados. Assim, obteve-se a quantidade real de equipamentos que tiveram problemas durante o período em questão e comparou-se estes valores, separados por modalidade, com o total da base instalada.

Após os resultados obtidos, definiu-se que a modalidade Tomografia Computadorizada deveria ser estudada a fundo, devido ao seu destaque, com altas incidências de ocorrências de chamados de manutenção corretiva, perante as outras áreas de enfoque.

Visto que as fontes de dados adquiridas para este trabalho englobam também softwares destinados aos equipamentos e como o intuito desta parte do trabalho era estudar a fundo os tomógrafos, os softwares vinculados à tomografia foram ignorados, sendo 8 registros de manutenção corretiva no total de 5233.

Foi realizado um estudo desta modalidade radiológica relacionando as incidências de manutenção corretiva ao longo do ano e as regiões brasileiras. Esta análise consistiu na avaliação da proporção entre o número de ocorrências de manutenção corretiva de cada estado brasileiro e o total de equipamentos que constam na base instalada deste estado.

Também foi feita uma avaliação do estado em que as máquinas de tomografia se encontravam no momento da abertura da ocorrência, verificando qual a porcentagem dos chamados que são classificados como “Máquina parada”, “Máquina parcialmente operacional (com limitações de funcionamento)” e “Máquina operacional”.

Com a finalidade de traçar padrões de comportamento e entender os altos índices de chamados de manutenção da modalidade de tomografia computadorizada, os equipamentos foram agrupados por modelo e por questões de confidencialidade todas as avaliações foram realizadas de acordo com a metodologia dos equipamentos abordados, omitindo-se a denominação dos equipamentos e mencionando-se apenas as modalidades às quais pertencem e as características gerais dos sistemas, conforme Tabela 1. Alguns dos modelos desta amostragem apresentam configurações similares, porém tratam-se de modelos distintos.

Tabela 1 - Amostragem dos modelos de equipamentos de tomografia computadorizada estudados neste trabalho.

Modelo de equipamento	Número de canais	Número de cortes adquiridos	Número de tubos de raios X	Potência do tubo de raios X (kW)
A	40	40	1	25
B	40	40	1	26
C	64	128	1	80
D	64	128	1	80
E	64	128	1	80
F	2 x 64	2 x 128	2	100
G	2 x 64	2 x 128	2	100
H	16	16	1	50
I	6	6	1	50
J	2	2	1	40
K	1	1	1	22
L	2 x 96	2 x 192	2	120
M	16	16	1	32
N	64	32	1	55
O	64	64	1	55
P	24	16	1	26
Q	24	16	1	50
R	40	40	1	70
S	64	64	1	80
T	2	2	1	26
U	2	2	1	40

Para cada modelo foi consolidada uma série de informações em uma única planilha. A partir da base de equipamentos ativos, verificou-se o número de equipamentos presentes na base instalada e calculou-se a média das idades de cada modelo. Com os dados de ocorrências de manutenções corretivas, para cada tipo de equipamento, obteve-se o número de ocorrências de manutenção corretiva e a respectiva representatividade do volume de chamados, dividindo o número de ocorrências do modelo pelo total de ocorrências da modalidade. Para calcular a média de incidências de manutenção corretiva para cada modelo, dividiu-se o número de ocorrências de manutenção corretiva pelo número de equipamentos da base instalada.

Além destas informações, realizou-se uma busca na base de ocorrências de manutenção corretiva, eliminando os equipamentos repetidos e obtendo uma lista com todos os equipamentos que tiveram problemas ao longo do ano. Desta forma, foi possível verificar, para todos os modelos de tomografia, o número real de equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva durante o período e calcular a média das idades destes equipamentos. Também foi feita uma análise dividindo este número de equipamentos pelo número de equipamentos na base instalada, o que resultou na porcentagem de equipamentos da base

instalada que necessitaram de manutenção corretiva. Para calcular a média real de incidências de manutenção corretiva para cada modelo, dividiu-se o número de ocorrências de manutenção corretiva pelo número de equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva.

Nesta planilha consolidada, também se analisou, para cada modelo, a quantidade absoluta de ocorrências de manutenção corretiva com equipamentos parados, utilizando a classificação do estado da máquina no momento do registro da ocorrência e desta informação realizou-se um cálculo dividindo a quantidade absoluta de ocorrências com equipamentos parados pelo número total de ocorrências de manutenção corretiva para obter a porcentagem de chamados de manutenção corretivas com equipamentos parados.

Após a consolidação de todas estas informações, em uma única planilha, foi realizado um estudo individual para cada modelo com a finalidade de observar a influência das idades dos modelos nas incidências de manutenção corretiva. Tendo em vista que as idades de todos os equipamentos desta modalidade variam entre zero e dezoito anos, os equipamentos dos modelos foram separados em idades e para cada idade do modelo, coletou-se a quantidade de equipamentos que apresentaram problemas no período analisado, a quantidade de equipamentos ativos e o número de incidências de manutenção corretiva.

Desta forma, com estas informações, foram gerados gráficos de dispersão no tempo para cada modelo e após isso, para facilitar a análise comparativa entre os modelos, eles foram separados por grupos, de acordo com média de idade dos equipamentos da base instalada. As faixas etárias estabelecidas para cada grupo foram: Grupo 1 – modelos com média de idade menor que 01 ano, Grupo 2 – modelos com média de idade entre 1 e 4 anos, Grupo 3 – modelos com média de idade entre 4 e 7 anos, Grupo 4 – modelo com média de idade entre 7 e 11 anos e Grupo 5 – modelos com média de idade acima de 11 anos.

Também para fins de comparação dos modelos de equipamentos de tomografia, foi criada uma métrica chamada de ‘Indicativo de ocorrência de manutenção corretiva (IOMC)’, a qual representa a influência que a idade e o tamanho da base instalada do modelo têm sobre as incidências de manutenções corretivas. Neste fator, a idade do equipamento foi considerada diretamente proporcional ao número de incidências de manutenção corretiva, pois entende-se que quanto mais velho é o equipamento, maior deve ser o desgaste e, portanto, maior deveria ser o número de ocorrências de manutenções corretivas. Da mesma forma, é esperado que quanto maior a base instalada, maior seja a probabilidade de ocorrer uma incidência de manutenção corretiva. Assim, esta análise foi realizada para cada modelo seguindo a equação

2 e traçado um gráfico do IOMC (eixo x) pelo ‘Número de ocorrências de manutenções corretivas (eixo y), estabelecendo-se uma linha de tendência linear a partir dos pontos.

$$IOMC = Média de Idade do Modelo * Número de Equipamentos do Modelo na BI \quad (2)$$

4. Resultados e Discussões

4.1. Análise geral dos equipamentos de radiodiagnóstico

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos através do estudo geral dos dados fornecidos pela empresa durante o período de 01 de outubro de 2017 à 30 de setembro de 2018, para todos os equipamentos de radiodiagnóstico das modalidades de terapias avançadas, tomografia computadorizada, mamografia e raios X.

Na Tabela 2 estão apresentadas as informações mensais das incidências dos chamados de manutenção corretiva por modalidade radiodiagnostics, ou seja, para cada modalidade, têm-se as quantidades absolutas de ocorrências de manutenção corretiva para cada mês durante o período analisado.

Tabela 2 – Análise mensal das ocorrências de manutenção corretiva por modalidade radiológica durante o período de 01 de outubro de 2017 à 30 de setembro de 2018.

Modalidade radiológica	Número de ocorrências por período												Total
	Out 17	Nov 17	Dez 17	Jan 18	Fev 18	Mar 18	Abr 18	Mai 18	Jun 18	Jul 18	Ago 18	Set 18	
AX	305	293	291	305	257	297	329	320	316	304	388	274	3679
CT	443	424	346	426	405	420	468	441	433	422	516	489	5233
MM	100	85	68	99	101	101	98	89	87	86	119	101	1134
RX	192	184	168	185	177	195	160	193	195	213	235	187	2284
Total	1040	986	873	1015	940	1013	1055	1043	1031	1025	1258	1051	12330

De acordo com a Tabela 2, no total, foram registrados 12330 chamados de manutenção corretiva ao longo do período analisado e a média mensal de ocorrências foi 1028. O mês de agosto de 2018 foi o que apresentou o maior número de ocorrências, totalizando 1258 chamados, enquanto o mês de dezembro de 2017 foi o mês que apresentou o menor número de chamados, o que pode ter sido ocasionado devido ao período de festas de final de ano e feriados.

A modalidade de tomografia computadorizada (CT) foi a que registrou o maior número de ocorrências de manutenção corretiva ao longo do período analisado, computando no total 5233 ocorrências, o que representa quase metade do total de chamados. Esta modalidade também foi a que apresentou o maior número de ocorrências de todos os meses analisados e, por consequência, ela apresentou a maior média mensal de chamados (436 ocorrências por mês).

Os equipamentos de angiografia e arco cirúrgico, terapias avançadas (AX), foram os que apresentaram o segundo maior número absoluto de incidências e uma média de 307 ocorrências por mês. Seguido desta modalidade, os raios X (RX) registraram o terceiro maior ranking de números absolutos de manutenções corretivas, com 2284 chamados ao longo do ano e uma média mensal de 190 ocorrências. Já a modalidade de mamografia (MM) foi a que apresentou a menor quantidade de chamados no período analisado, totalizando 1134 ocorrências e uma média de 95 incidências por mês.

Considerando que para um volume grande de equipamentos, esperava-se que a quantidade de chamados de manutenção seriam maiores, quando comparado a um volume menor, realizou-se uma correlação entre os dados de manutenção corretiva e as informações de base instalada com a finalidade de verificar as proporções entre a quantidade de equipamentos e a quantidade de manutenções corretivas e, consequentemente, a significância destes números de ocorrências de manutenção corretiva. Esta proporção foi denominada na Tabela 3 como ‘Quantidade de Manutenções Corretivas por Equipamento Ativo’, a qual representa o número médio de manutenções corretivas para um equipamento ativo por modalidade.

Tabela 3 - Quantidade total de equipamentos ativos e de ocorrências de manutenção corretiva por modalidade radiológica.

Modalidade radiológica	Quantidade de equipamentos ativos	Quantidade de equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva	Quantidade de ocorrências de manutenções corretivas	Quantidade média de manutenções corretivas por equipamento ativo
AX	1652	975	3679	2,2
CT	826	700	5233	6,3
MM	547	316	1134	2,1
RX	1301	629	2284	1,8
Total	4326		12330	2,9

Ao observar as colunas “Quantidade de Equipamentos Ativos” e “Quantidade de Ocorrências de Manutenções Corretivas”, verifica-se que a modalidade MM é a que apresenta o menor número de equipamentos e o menor número de ocorrências. Em contrapartida, CT possui a segunda menor base instalada, entretanto, o maior número de

chamados de manutenção corretiva. As modalidades RX e AX seguem condizentes com o esperado.

Em proporções, a média geral de chamados de manutenção corretiva por equipamentos para todas as modalidades foi 2,9 e observa-se que todas as modalidades radiológicas, com exceção da tomografia computadorizada (CT), obtiveram uma média de ocorrência de manutenção corretiva menor que a média geral de todos os equipamentos. Isto significa que os equipamentos destas modalidades tiveram uma incidência de problemas menor que a média de todas as modalidades estudadas. A menor média de chamados por equipamento ativo foi a dos equipamentos de RX, com uma média de 1,8 incidências, seguido pela mamografia (MM) e terapias avançadas (AX), onde as médias foram, respectivamente, 2,1 e 2,2. Já CT apresentou uma média de ocorrência 2,2 vezes maior que a média geral, o que indica que cada equipamento ativo teve uma média de 6,3 ocorrências de manutenção corretivas ao longo deste período analisado.

As Figuras 1 e 2 seguintes permitem uma melhor visualização e interpretação dos dados apresentados na Tabela 3, verificando as informações dos equipamentos ativos na base instalada e das incidências de manutenção corretiva de forma visual e em porcentagem.

Figura 1 - Distribuição dos equipamentos da base instalada por modalidade radiológica.

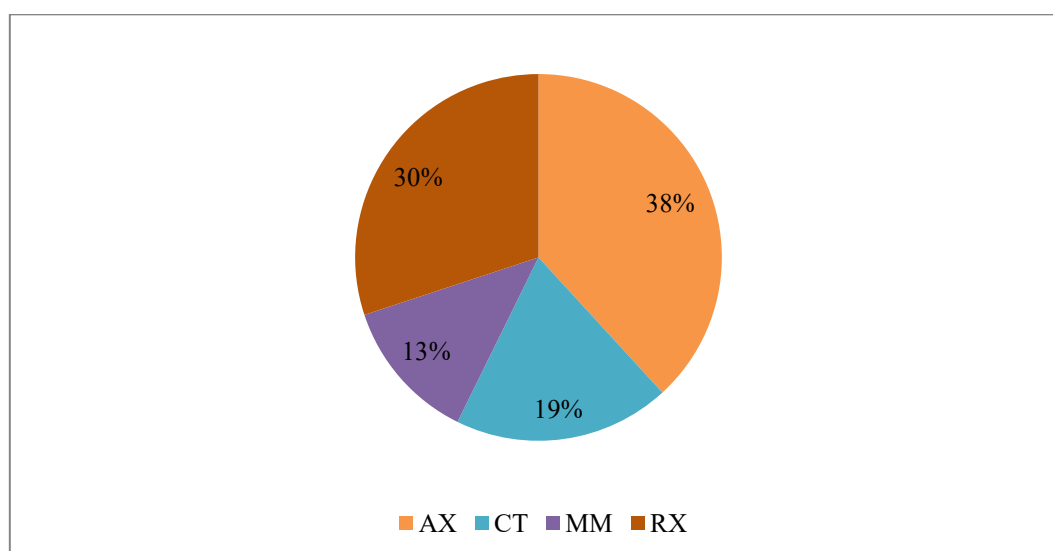
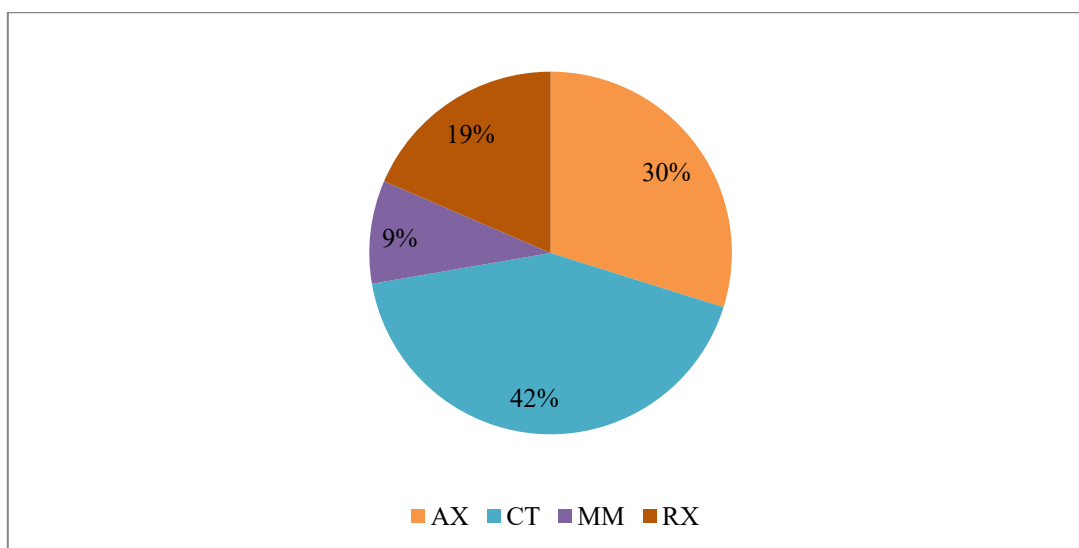


Figura 2 - Distribuição das ocorrências de manutenção corretiva por modalidade radiológica.



Ao analisar as distribuições por modalidade radiológica dos equipamentos ativos na base instalada, Figura 1, e das incidências de manutenção corretiva, Figura 2, era esperado que o gráfico da Figura 2 fosse similar ao gráfico da Figura 1, pois entende-se que as proporções de chamados e de equipamentos deveriam ser similares, ou seja, para um pequeno volume de equipamentos é esperado um pequeno volume de chamados.

Porém, através da comparação entre estes gráficos, verificou-se que MM apresentou os menores índices para ambos os casos, representando 13% dos equipamentos ativos e 9% das ocorrências de manutenção corretiva. O RX foi a modalidade que apresentou o melhor resultado, visto que retrata 30% dos equipamentos ativos e apenas 19% dos chamados de manutenção corretiva. A modalidade AX teve também um resultado similar, caracterizando 30% das ocorrências de manutenção corretiva e 38% da base instalada. Já CT apresentou 42% das ocorrências de manutenção corretiva, entretanto esta modalidade possui o segundo menor número de equipamentos ativos, representando apenas 19% de todos os equipamentos radiológicos presentes na base instalada, concluindo-se então que se trata da modalidade que apresentou o pior resultado e uma porcentagem de ocorrências de manutenção corretiva 2,2 vezes maior que a porcentagem de equipamentos ativos.

Além da análise entre número de chamados de manutenção corretiva e número de equipamentos ativos na base instalada, foi explorado também a quantidade de equipamentos que de fato apresentaram problemas ao longo do período analisado. No gráfico da Figura 3, este número, por modalidade, é comparado com a quantidade total

equipamentos ativos na base instalada e, no gráfico da Figura 4, estas duas informações são confrontadas, obtendo-se uma porcentagem.

Figura 3 - Comparação entre o número de equipamentos que apresentaram problemas ao longo do período analisado e o número de equipamentos ativos da base instalada.

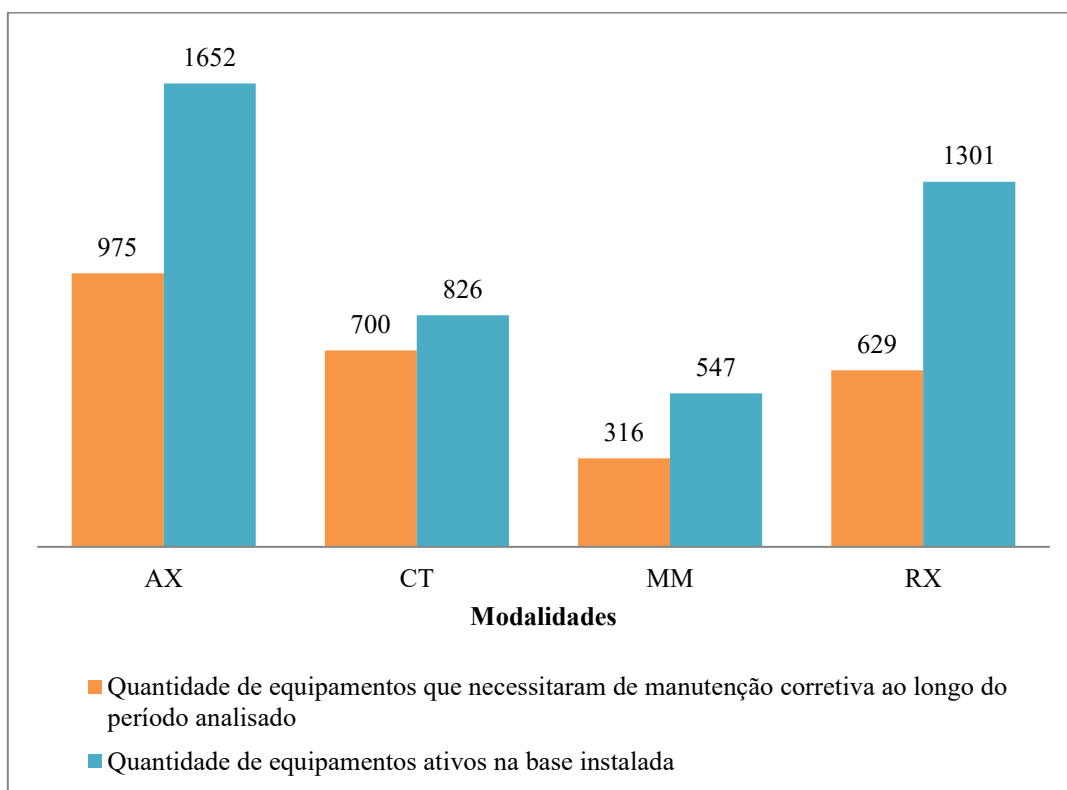
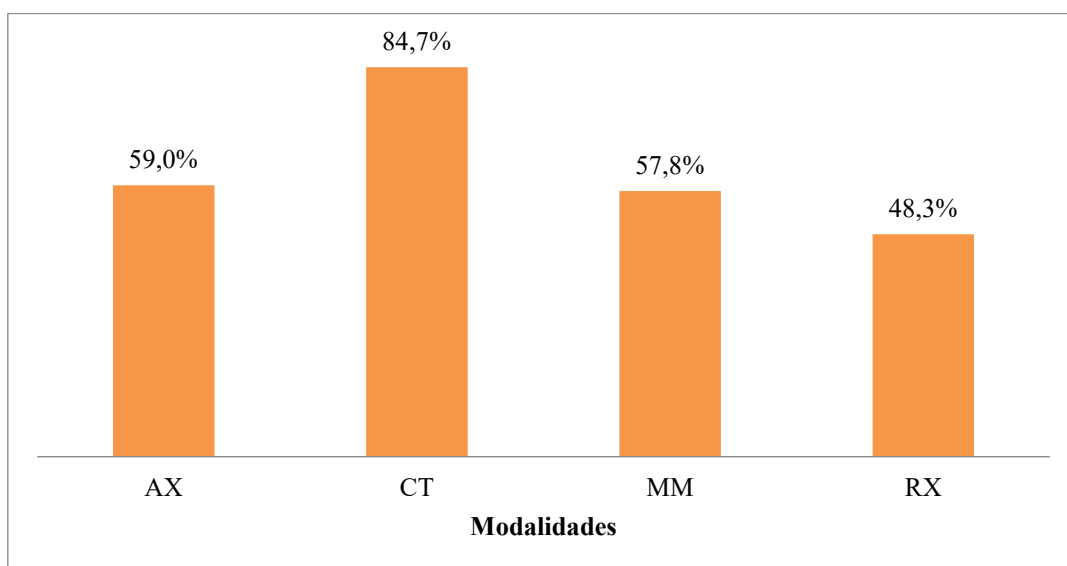


Figura 4 - Porcentagem dos equipamentos ativos que apresentaram problemas ao longo do período analisado.



Ao observar os Gráficos 3 e 4, compara-se as modalidades tendo em vista os aspectos de proporção entre a quantidade de equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva e o número de equipamentos ativos. Assim, verifica-se que 84,7% de todos os equipamentos de tomografia computadorizada desta empresa apresentaram problemas, o que significa que apenas 15,3% dos equipamentos não tiveram nenhum tipo de ocorrência. Em valores brutos, de 826 equipamentos de tomografia computadorizada no Brasil, 700 deles tiveram algum tipo de problema durante o ano e 126 equipamentos estiveram isentos de ocorrências.

Já para as outras modalidades, o cenário foi menos agressivo, sendo 59%, 57,8% e 48,3% as porcentagens de equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva para, respectivamente, terapias avançadas (AX), mamografia (MM) e raios X (RX). A modalidade AX destaca-se pelo maior número bruto de equipamentos que tiveram problemas, totalizando 975 equipamentos. Entretanto, esta modalidade possui também a maior quantidade de equipamentos da base instalada, o que, em proporções, não é tão significativo quanto a modalidade CT. A modalidade RX foi a única em que menos da metade dos equipamentos tiveram alguma ocorrência de manutenção, sendo 629 equipamentos de 1301. Assim, uma suposição é que o número de ocorrências de manutenção corretiva também pode estar relacionado a complexidade da modalidade, visto que RX é menos complexo que CT.

Visto que a modalidade CT se destacou em todas as análises anteriores, contendo uma das menores quantidades de equipamentos base instaladas, o maior índice de manutenção corretiva e uma alta porcentagem de equipamentos ativos que apresentaram problemas, definiu-se que esta modalidade radiológica deveria ser estudada a fundo.

4.2. Análise da modalidade tomografia computadorizada

Os resultados descritos nesta seção foram obtidos através de uma análise mais detalhada da modalidade de Tomografia Computadorizada, com o intuito de entender os padrões e a alta incidência de ocorrências de manutenção corretiva desta modalidade.

Foi realizado um estudo regionalizando dos equipamentos ativos e os chamados de manutenções corretivas para averiguar se existia alguma relação entre regiões brasileiras, estados brasileiros e chamados de manutenção corretiva. A Tabela 4 apresenta para cada região geográfica brasileira as quantidades de ocorrências de manutenção corretiva e de equipamentos ativos por região brasileira, além da

quantidade média de ocorrências por equipamento. Já a Tabela 5 mostra as mesmas informações anteriores, entretanto para cada estado brasileiro.

Tabela 4 - Análise regional de ocorrências de manutenções corretivas e equipamentos ativos no Brasil.

Região brasileira	Quantidade de ocorrências de manutenção corretiva	Quantidade de equipamentos ativos na base instalada	Quantidade média de ocorrências de manutenção corretiva por equipamento ativo
Nordeste	893	153	5,8
Sul	612	116	5,3
Sudeste	2899	419	6,9
Norte	202	45	4,5
Centro-Oeste	627	93	6,7
Total			6,3

Tabela 5 - Análise de incidências de manutenções corretivas e equipamentos ativos por estado brasileiro.

Estado brasileiro	Quantidade de ocorrências de manutenção corretiva	Quantidade de equipamentos ativos na base instalada	Quantidade média de ocorrências de manutenção corretiva por equipamento ativo
Acre	0	0	0,00
Alagoas	54	7	7,71
Amazonas	47	12	3,92
Amapá	14	2	7,00
Bahia	257	48	5,35
Ceará	93	17	5,47
Distrito Federal	230	30	7,67
Espírito Santo	95	15	6,33
Goiás	242	37	6,54
Maranhão	29	7	4,14
Minas Gerais	696	94	7,40
Mato Grosso do Sul	78	16	4,88
Mato Grosso	77	10	7,70
Pará	51	14	3,64
Paraíba	77	11	7,00
Pernambuco	267	36	7,42
Piauí	37	7	5,29
Paraná	178	39	4,56
Rio de Janeiro	558	79	7,06
Rio Grande do Norte	11	7	1,57
Rondônia	80	14	5,71
Roraima	0	0	0,00
Rio Grande do Sul	317	59	5,37

Estado brasileiro	Quantidade de ocorrências de manutenção corretiva	Quantidade de equipamentos ativos na base instalada	Quantidade média de ocorrências de manutenção corretiva por equipamento ativo
Santa Catarina	117	18	6,50
Sergipe	68	13	5,23
São Paulo	1550	231	6,71
Tocantins	10	3	3,33

Deste estudo, observou-se na Tabela 4 que a região Norte é a região que apresenta menos acesso à tecnologia de tomografia computadorizada, enquanto a região Sudeste é a que possui o maior número de equipamentos, sendo a sua base instalada aproximadamente 9,3 vezes maior que a primeira. A quantidade de equipamentos na região Sudeste é tão majoritária que esta região sozinha possui mais equipamentos ativos que a soma de todos os equipamentos das outras regiões juntas. Entretanto, esta região também é a que manifestou a maior média de ocorrências por equipamentos da base instalada.

Em média, tem-se 6,3 chamados de manutenção corretiva por equipamento de tomografia computadorizada no Brasil e apenas as regiões Nordeste, Sul e Norte apresentaram médias abaixo deste valor. A região que possui o maior número de equipamentos, Sudeste, foi a mesma região que apresentou mais problemas por equipamento, da mesma forma, a região Norte foi aquela que constatou a menor quantidade de equipamentos, mas também foi a região que registrou o menor número de problemas por equipamento. Este padrão não é seguido pelas as outras três regiões brasileiras, definindo-se, então, que não existe uma correlação entre o tamanho da base instalada e a média de ocorrências de manutenção corretiva.

Ao realizar a mesma análise por estados, conforme a Tabela 5, constatou-se que 12 dos 27 estados brasileiros apresentaram uma média de incidência de chamados de manutenção corretiva por equipamento de tomografia computadorizada superior à média total do Brasil, descrita na Tabela 4. Isto significa dizer que estes 12 estados brasileiros possuem uma recorrência maior de problemas em seus equipamentos.

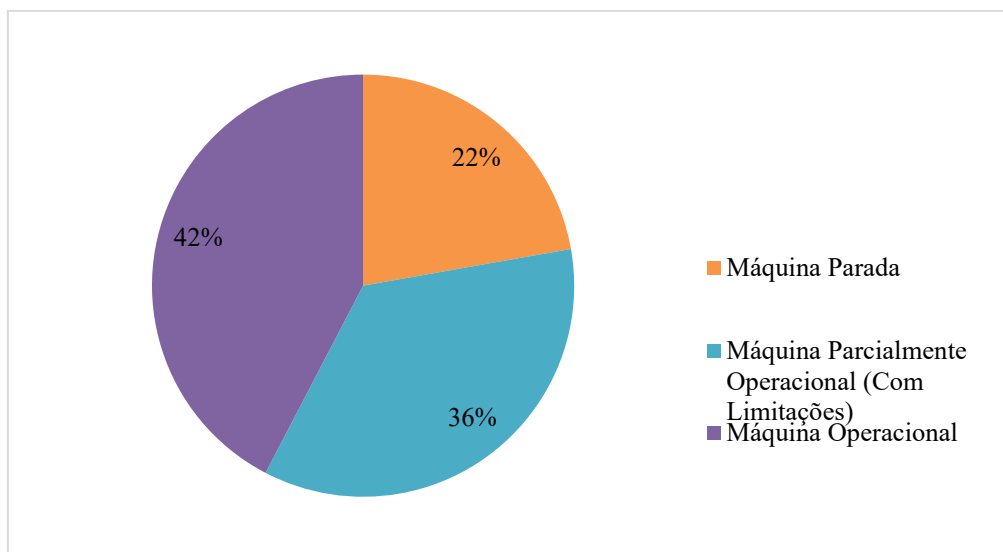
Os cinco estados brasileiros que tiveram as maiores médias de chamados foram, em ordem crescente, MG, PE, DF, MT e AL. O estado Alagoas destacou-se por possuir a maior média, sendo no total 54 chamados de manutenção corretiva para 7 equipamentos presentes neste estado. Em contrapartida, o estado Rio Grande do Norte é

aquele que obteve a menor média de chamados por equipamento de tomografia, totalizando 11 chamados de manutenção corretiva para 7 equipamentos. Dentre os 5 estados brasileiros que apresentaram as menores médias de chamados de manutenção corretiva por equipamento encontram-se, em ordem crescente, RN, TO, PA, AM, MA.

Considerando os estados de destaque com relação às médias de incidências, verifica-se que a região nordeste foi destacada tanto nas melhores e como nas piores situações no Brasil. Além disto, entre os casos mais críticos, observa-se uma variedade de estados distribuídos em 3 regiões diferentes. Portanto, conclui-se que não existe uma influência regional no número de chamados de manutenção corretiva por equipamentos e não é possível estabelecer nenhuma relação entre estas informações. Entretanto, ressalta-se que o Sudeste, mesmo representando apenas 10,9% do território nacional (IBGE, 2018), é a região onde há a predominância da população brasileira, do maior PIB e, conseqüentemente, do maior volume de tecnologias de tomografia computadorizada entre as regiões.

Outro fator que influenciou as análises realizadas neste trabalho foi a questão operacional da máquina, uma vez que um equipamento parado ou com um problema que limite o seu funcionamento pode ocasionar uma série de perdas à instituição, como a perda de receita e insatisfação de pacientes pela não realização de exames. Desta forma, um equipamento parado apresenta uma maior urgência de atendimento e resolução do problema, quando comparado aos equipamentos operacionais. O gráfico da Figura 5 apresenta as porcentagens dos chamados por status do equipamento.

Figura 5 - Análise de chamados de manutenção por status do equipamento de tomografia computadorizada no registro da ocorrência de manutenção corretiva.



A partir do gráfico da Figura 5, observa-se que 42% das incidências de manutenções corretivas apresentaram-se em condições operacionais de uso, entendendo-se que estas ocorrências poderiam de certa forma estar relacionadas apenas às dúvidas pontuais sobre o equipamento e/ou pequenos ajustes e não necessariamente à um problema que limite o uso deste equipamento. Por outro lado, 58% dos problemas ocorridos tiveram alguma limitação de uso do equipamento, sendo 22% situações em que a máquina se encontrava parada. Por mais que a porcentagem de máquinas paradas seja a menor porcentagem dentre os status apresentados, os números absolutos ainda são significativos, sendo que entre as 5225 ocorrências de manutenção corretiva, 1161 chamados apresentaram máquina parada.

Diante os resultados gerais da modalidade de tomografia computadorizada, realizou-se os estudos para cada modelo de equipamento com a finalidade de comparar os desempenhos dos modelos entre si e observar possíveis padrões de manutenções estabelecidos pelas características destes modelos.

4.3. Análise dos modelos de equipamentos de tomografia computadorizada

Os resultados apresentados neste capítulo foram obtidos através do estudo de cada modelo de tomógrafo em específico e da comparação entre eles, levando em consideração as características e comportamentos apresentados nas fontes de dados das manutenções corretivas e base instalada.

A Tabela 6 é uma consolidação de diversas informações estudadas ao longo do trabalho para cada modelo de tomógrafo. Em cada seção abaixo serão, discutidos estes dados individualmente para cada modelo, destacando-se os principais pontos de destaque.

Tabela 6 - Características das manutenções corretivas de cada modelo de tomografia computadorizada do fabricante durante o período de 01 de outubro de 2017 à 30 de setembro de 2018.

Modelo	Número de equipamentos na base instalada	Número de equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva	Porcentagem de equipamentos da base instalada que necessitaram de manutenção corretiva	Número de ocorrências de manutenção corretiva	Média de ocorrências de manutenção corretiva por base instalada	Média de ocorrências de manutenção corretiva por equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva	Média das idades dos equipamentos com ocorrência de manutenção corretiva	Média das idades dos modelos de equipamentos da base instalada	Número de ocorrências de manutenção corretiva com equipamentos parados	Porcentagem de ocorrências de manutenção corretiva com equipamentos parados
A	1	1	100,0%	1	1,0	1,0	18,0	18,0	1	100,00%
B	5	4	80,0%	4	0,8	1,0	13,5	14,2	0	0,00%
C	2	2	100,0%	13	6,5	6,5	10,0	10,0	4	30,77%
D	63	57	90,5%	604	9,6	10,6	5,2	4,8	107	17,72%
E	6	5	83,3%	29	4,8	5,8	0,2	0,2	1	3,45%
F	7	7	100,0%	112	16,0	16,0	5,0	5,0	9	8,04%
G	2	2	100,0%	4	2,0	2,0	0,0	0,0	0	0,00%
H	175	162	92,6%	1441	8,2	8,9	5,6	5,5	277	19,22%
I	85	72	84,7%	527	6,2	7,3	9,4	9,2	127	24,10%
J	1	0	0,0%	0	0,0	0,0	-	16,0	-	-
K	1	1	100,0%	3	3,0	3,0	16,0	16,0	0	0,00%
L	1	1	100,0%	3	3,0	3,0	0,0	0,0	0	0,00%
M	28	12	42,9%	75	2,7	6,3	0,0	0,0	10	13,33%
N	7	7	100,0%	63	9,0	9,0	3,4	3,4	11	17,46%
O	48	40	83,3%	332	6,9	8,3	2,0	1,7	48	14,46%
P	120	106	88,3%	669	5,6	6,3	1,6	1,6	150	22,42%
Q	13	11	84,6%	47	3,6	4,3	1,2	1,0	6	12,77%
R	4	4	100,0%	67	16,8	16,8	11,0	11,0	15	22,39%
S	19	18	94,7%	269	14,2	14,9	9,9	9,8	42	15,61%
T	216	182	84,3%	930	4,3	5,1	7,3	7,1	246	26,45%
U	4	4	100,0%	32	8,0	8,0	5,3	5,3	12	37,50%
Total Geral	808	698	86,4%	5225	6,5	7,5	5,2	5,3	1054	20,17%

Tendo em vista os estudos individuais de cada modelo de tomógrafo deste fabricante, todas as características ressaltadas de alguma maneira estão relacionadas de forma positiva ou negativa com desempenho do tomógrafo. Para facilitar a análise comparativa entre os gráficos e dados de cada sistema, os modelos foram separados em cinco grupos de acordo com a média de idades da sua respectiva base instalada. A Tabela 7 apresenta as faixas etárias estabelecidas para cada grupo e os seus respectivos modelos.

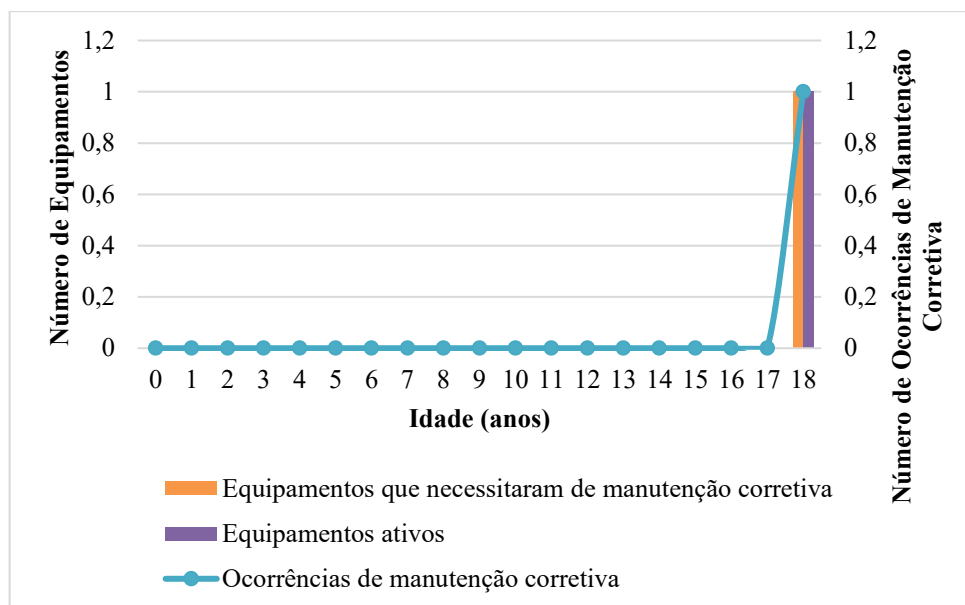
Tabela 7 – Distribuição dos modelos de tomografia computadorizada por faixas etárias.

Grupo 1: modelos com média de idade menor que 1 ano	Grupo 2: modelos com média de idade entre 1 e 4 anos	Grupo 3: modelos com média de idade entre 4 e 7 anos	Grupo 4: modelos com média de idade entre 7 e 11 anos	Grupo 5: modelos com média de idade acima de 11 anos
E	N	D	C	A
G	O	F	I	B
L	Q	H	R	J
M		U	S	K
P			T	

Visto que cada seção abaixo aborda os temas de cada modelo de tomógrafo estudado, foram traçados vinte gráficos (Figura 6 à Figura 25) de dispersão no tempo, com o eixo *x* variando de zero a dezoito anos (extremos da variação de idade dos equipamentos) e o eixo *y* sendo caracterizado por dois eixos, onde o primário representa o número de equipamentos ativos presentes na base instalada e o número de equipamentos que tiveram problemas e o eixo secundário refere-se ao número de incidências ao longo do ano.

4.3.1. Modelo A

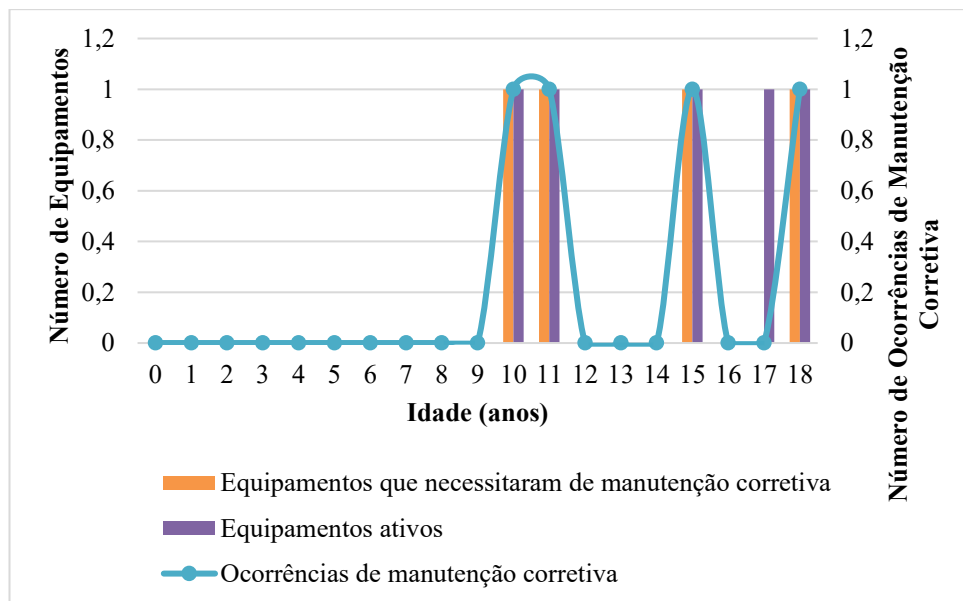
Figura 6 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo A por idade.



O modelo A trata-se de um modelo de equipamento de CT antigo visto que a base instalada possui apenas uma máquina e esta tem a idade de 18 anos, considerada a idade mais alta dentre todos os equipamentos de tomografia ativos desta empresa. Observa-se também que esta máquina apresentou apenas um único chamado de manutenção corretiva durante o período analisado, o que significa que, por ser um equipamento velho, teve uma boa performance. Vale ressaltar que por se referir de um único equipamento, não se tem uma amostragem que possibilite determinar que o modelo tende a apresentar uma boa performance.

4.3.2. Modelo B

Figura 7 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo B por idade.

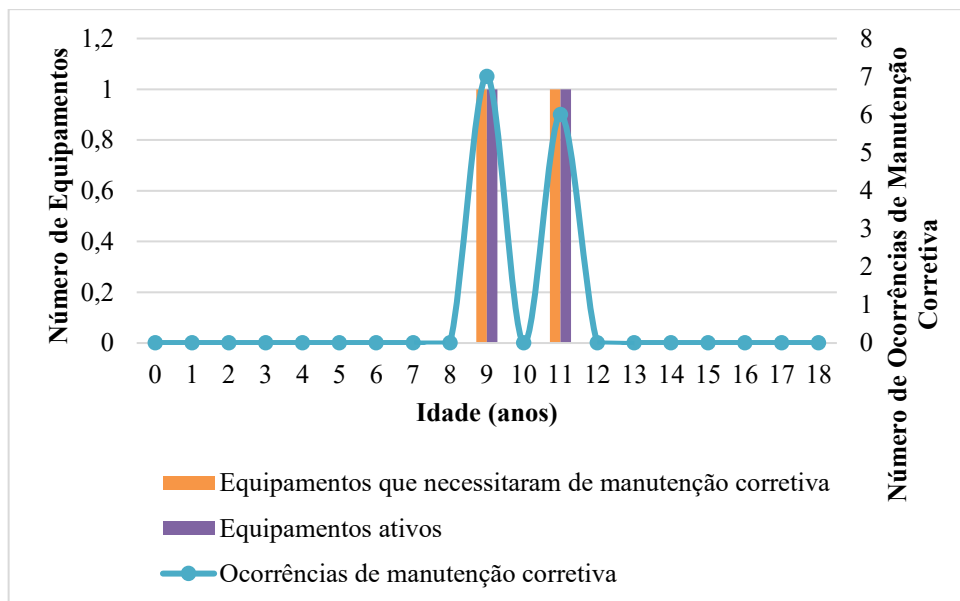


O modelo de tomógrafo B registrou chamados de manutenção corretiva em 80% dos equipamentos ativos, o que sugere que a cada 5 equipamentos, 4 apresentaram algum tipo de ocorrência de manutenção. Entretanto, ao analisar as quantidades absolutas, verifica-se que por mais que a porcentagem seja alta, o fato não é relevante pois têm-se apenas 5 equipamentos ativos. Vale ressaltar que nenhum destes equipamentos se apresentou como máquina parada.

Ao avaliar a idade dos modelos apresentados na Tabela 6, observa-se que o modelo em questão está entre os três mais antigos, o que é validado visualmente ao verificar o gráfico da Figura 7. As colunas verdes e amarelas representam as quantidades de equipamentos e são predominantes no lado direito do gráfico, ou seja, na área em que indica as idades mais avançadas. Assim, entende-se que o modelo teve resultados positivos por ser um modelo antigo e cada equipamento ter apresentado uma média de uma ocorrência por equipamento.

4.3.3. Modelo C

Figura 8 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo C por idade.

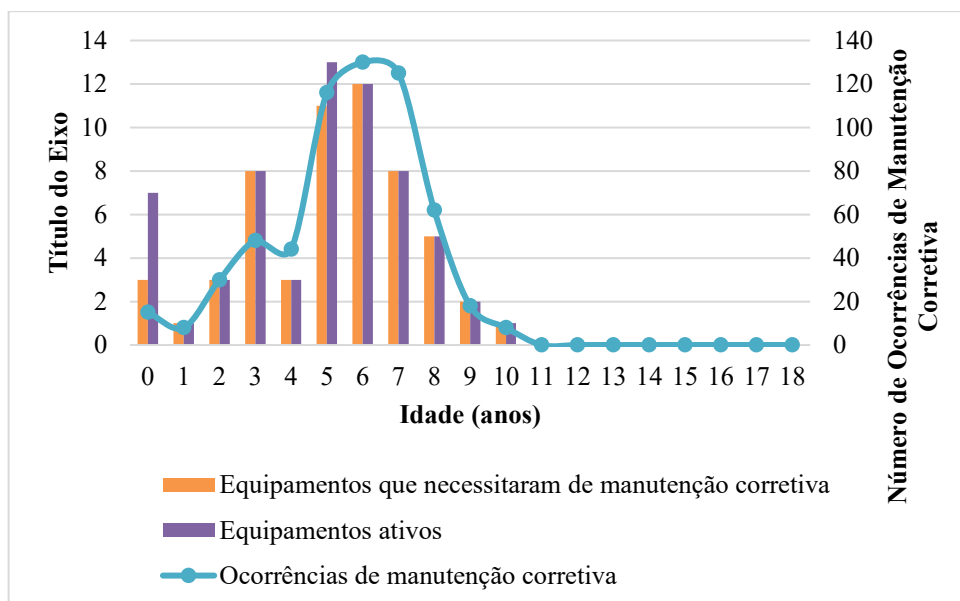


Para o modelo C, a base instalada de equipamentos ativos é pouco expressiva, sendo constituída de apenas dois equipamentos. Estes equipamentos possuem 9 e 11 anos e, em média, apresentaram 6,5 ocorrências de manutenção corretiva. Ao observar o status da máquina, em 30,8% das ocorrências o equipamento encontrava-se inoperante, sendo esta a segunda maior porcentagem de equipamentos parados para o total de chamados de cada modalidade. Porém, em números, isto significa que a máquina ficou parada em 4 dos 13 chamados.

Tendo em vista estas informações, o modelo é considerado mais significativo ao comparar com os casos anteriores (modelo A e B), entretanto possui poucos equipamentos ativos e por isto não é possível determinar um padrão.

4.3.4. Modelo D

Figura 9 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo D por idade.

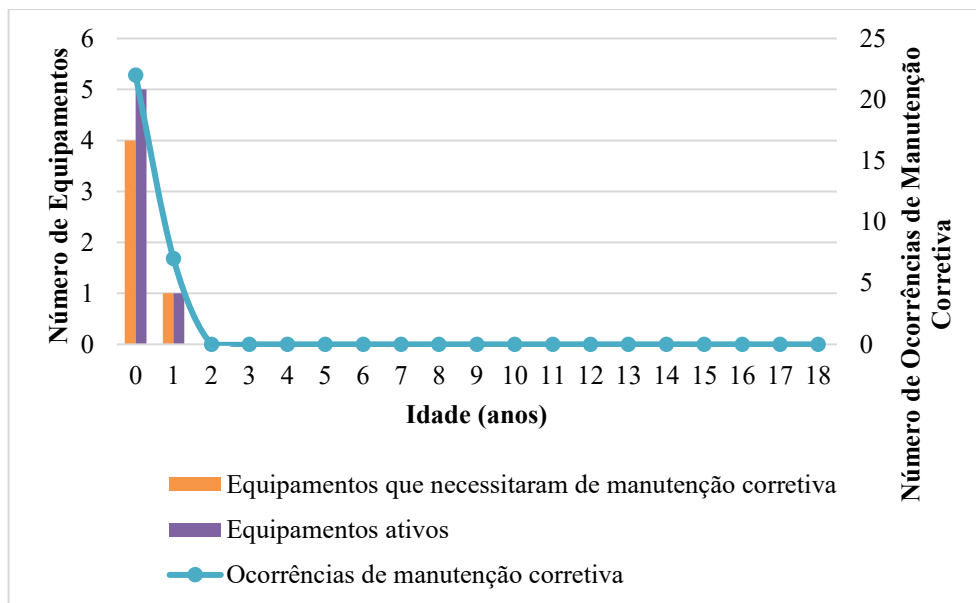


O modelo D se destacou por ter uma base instalada significativa de 63 equipamentos e com média de idade considerada mediana, de 4,8 anos. Tendo em vista os modelos com idades similares à esta, o D apresentou um alto número de ocorrências por equipamento com chamado de manutenção, aproximadamente 10,6 chamados por equipamento. Foi constatado que alguns equipamentos apontaram até 20 chamados durante o ano e ao considerar que o ano tem 12 meses, em cada mês houve a ocorrência de pelo menos um problema.

Ao todo foram registradas 604 ocorrências de manutenção corretiva, sendo um alto índice de chamados para o tamanho da base instalada. Além disto, vale ressaltar que 90% dos equipamentos da base instalada demonstraram problemas ao longo do período analisado e que 17,7% dos chamados apresentaram máquina parada, sendo 107 chamados que apresentaram uma consequência de grau mais significativo.

4.3.5. Modelo E

Figura 10 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo E por idade.

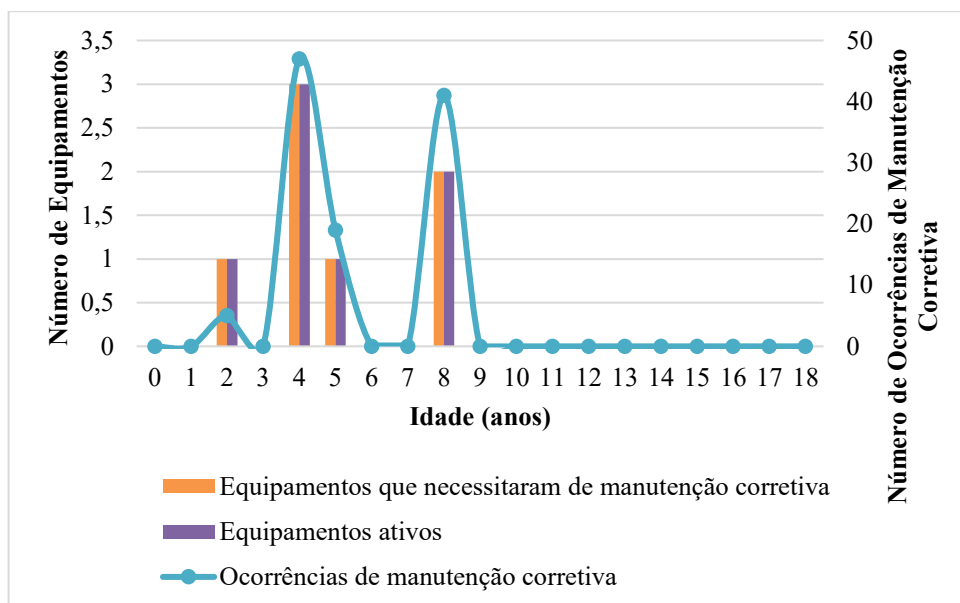


Para o modelo E, observa-se no gráfico da Figura 10 que há a predominância de equipamentos no lado esquerdo do gráfico, o que significa que a base instala deste modelo é constituída de equipamentos mais recentes, com idade até 1 ano. A incidência de chamados por equipamento foi abaixo da média geral, porém a mais alta quando comparado aos modelos novos, sendo 4,8 chamados por equipamento. Suspeita-se que estes números mais altos de chamados estejam relacionados à questão de novas tecnologias e, consequentemente, à fase de adaptação do cliente com a máquina. Além disto, apenas um equipamento registrou o status de “máquina parada” no apontamento da ocorrência.

Visto que se trata de um modelo novo, a base instalada ainda é pouco significativa, sendo representada por 6 equipamentos no total. Supõe-se que a questão de ter poucos equipamentos ativos está atrelada ao fato de se tratar uma nova tecnologia que ainda está se infiltrando no mercado.

4.3.6. Modelo F

Figura 11 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo F por idade.

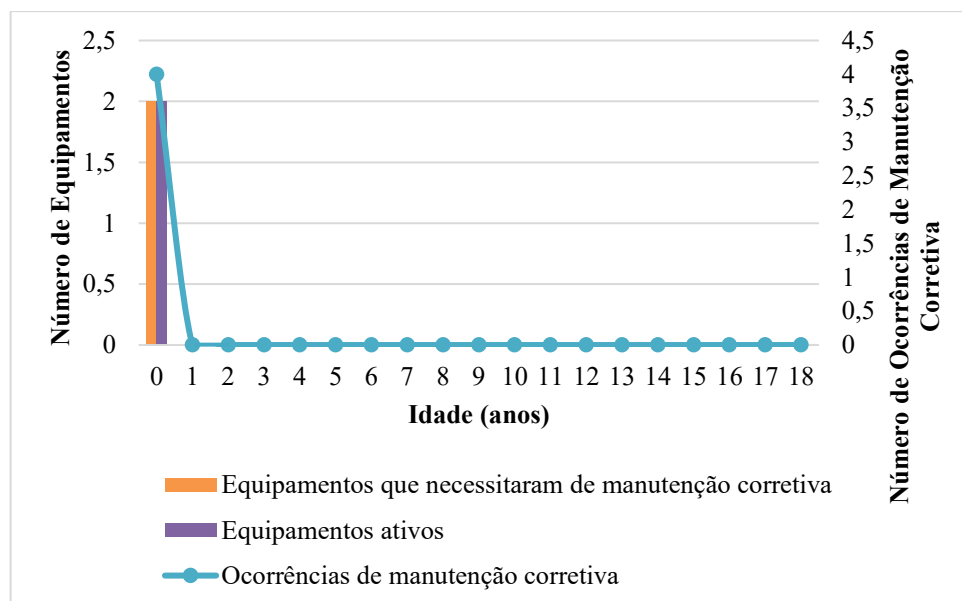


O modelo F constatou uma média de 16 ocorrências de manutenção corretiva por equipamento, onde todos os equipamentos ativos registraram pelo menos uma ocorrência de manutenção. A base instalada deste modelo é pequena, sendo formada por 7 equipamentos no total. Entretanto, a quantidade de ocorrências de manutenção corretiva é alta com relação a este número, totalizando 112 chamados.

No gráfico da Figura 11, é possível verificar a distribuição de equipamentos pela idade, notando que se trata de um modelo em maturidade, sendo a média de idade da base instalada 5 anos. Também foram registradas 9 ocorrências com equipamentos inoperantes, o que ao comparar com a base instalada, significaria que todos os equipamentos tiveram pelo menos um problema crítico durante o ano.

4.3.7. Modelo G

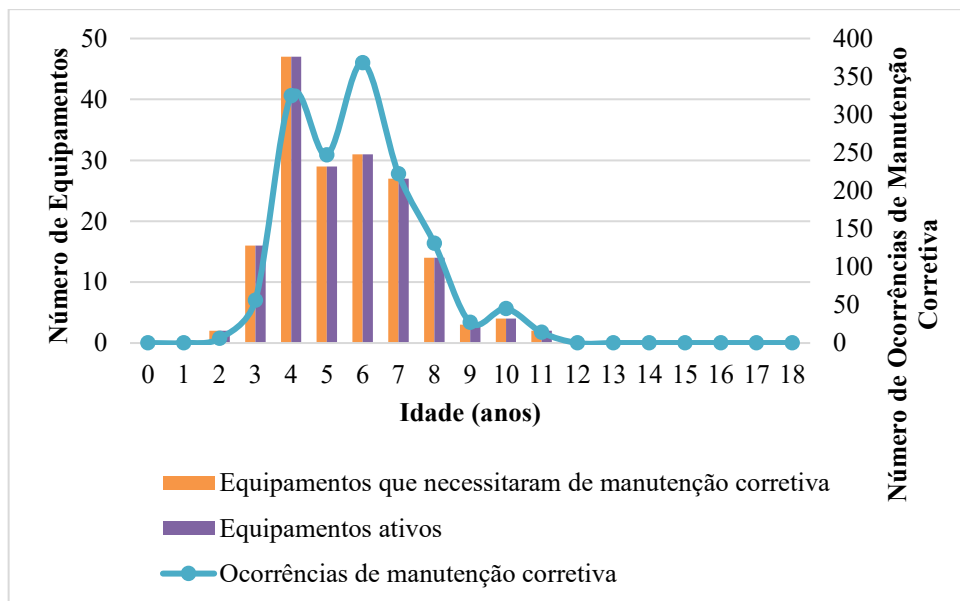
Figura 12 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo G por idade.



O modelo G, por apresentar apenas equipamentos com menos de um ano de idade, conforme o gráfico da Figura 12, trata-se de um equipamento de modelo novo que ainda está se estabelecendo no mercado e também de um equipamento de tecnologia mais cara e mais avançada, possuindo 128 canais. Devido este fato, a base instalada é pequena, apresentando apenas dois equipamentos ativos. Para estes equipamentos, a média de ocorrências de manutenção corretiva foi 2,0 e não houve problemas de equipamentos parados.

4.3.8. Modelo H

Figura 13 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo H por idade.



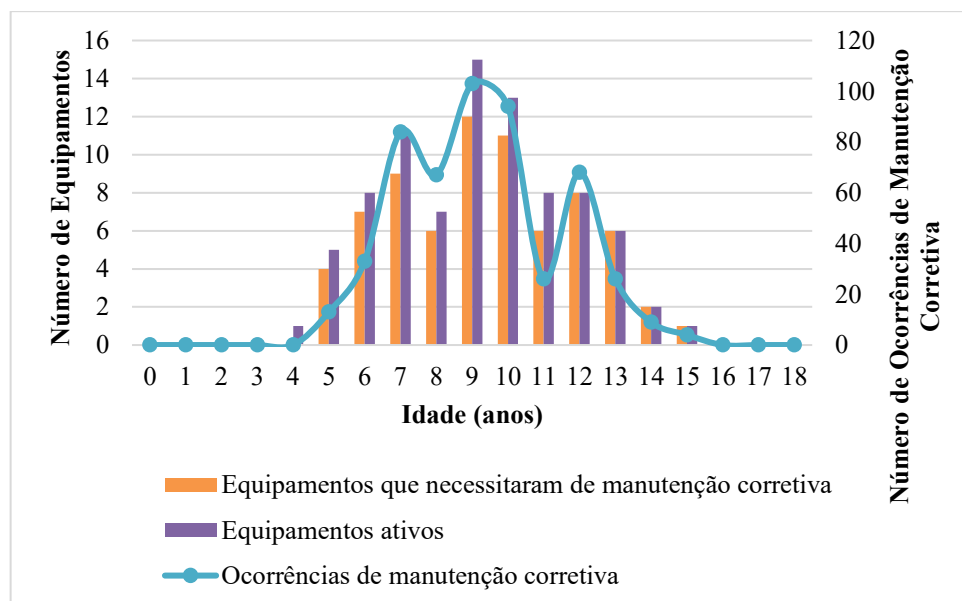
O modelo H é caracterizado por uma base instalada relevante, com 175 equipamentos, e por 92,6% destes equipamentos ativos apresentarem pelo menos um chamado de manutenção corretiva. No total, foram registradas 1441 ocorrências de manutenção, o que representa a maior porcentagem do total de chamados de manutenção corretiva de tomografia computadorizada (27,6%).

Além disto, trata-se do modelo que possui o maior número de ocorrências com equipamentos parados, totalizando em 277 chamados. Vale ressaltar que trata-se de um equipamento com uma média de 5,5 anos de idade, considerado em maturidade.

Ao observar o gráfico da Figura 13, observa-se um pico de ocorrências de manutenção corretiva para os equipamentos com 6 anos de idade, que é evidenciado ao comparar com os chamados para os equipamentos de 4 anos. A maioria dos equipamentos deste modelo possuem 4 anos de idade e, em proporções, possuem uma menor quantidade de chamados quando comparados com as máquinas com outras idades.

4.3.9. Modelo I

Figura 14 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo I por idade.



Ao analisar o gráfico da Figura 14, referente ao modelo I, verifica-se que este modelo tem equipamentos desde 4 a 15 anos de idade na base instalada, mesmo que a média de idade apresentada na Tabela 6 seja igual a 9,4 anos. Além disto, observa-se que nos equipamentos mais recentes, não foram todos os equipamentos que necessitaram de manutenção corretiva, enquanto nos equipamentos mais antigos, a partir de 12 anos, todos os equipamentos apresentaram pelo menos um problema.

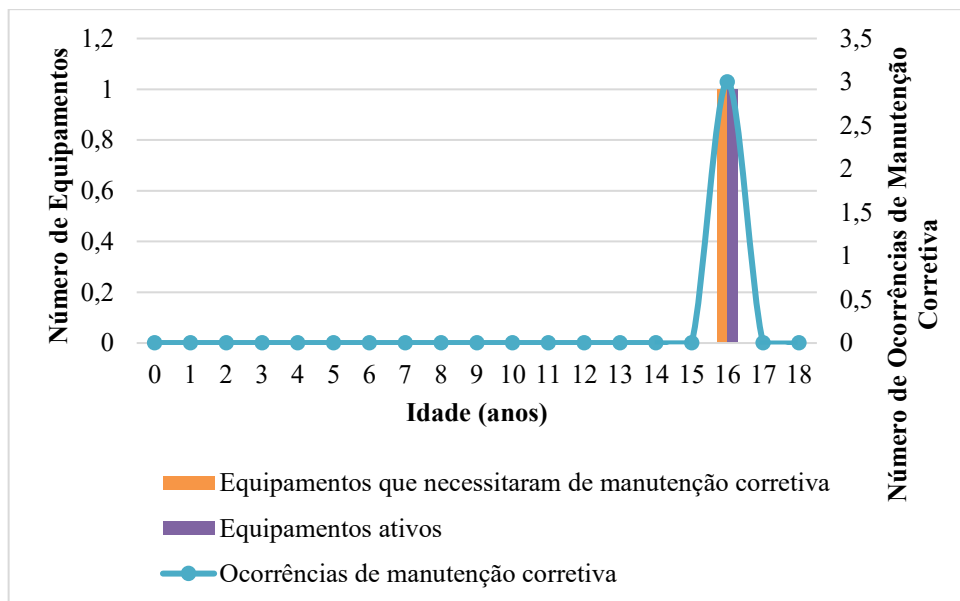
De acordo com a Tabela 6, base instalada é representada por 85 equipamentos e a média de ocorrências de manutenção corretiva por equipamento foi 7,3. Dentre os 72 chamados de manutenção corretiva, aproximadamente 24,1% dos problemas apresentados sinalizaram que o equipamento se encontrava inoperante, sendo no total 127 ocorrências com máquinas paradas.

4.3.10. Modelo J

O modelo J possui apenas um equipamento ativo registrado na base instalada e o mesmo não apresentou nenhum chamado de manutenção corretiva durante o período analisado. Vale destacar que, se trata de um equipamento com 16 anos de idade entendendo-se que o modelo já se encontra em um período de declínio.

4.3.11. Modelo K

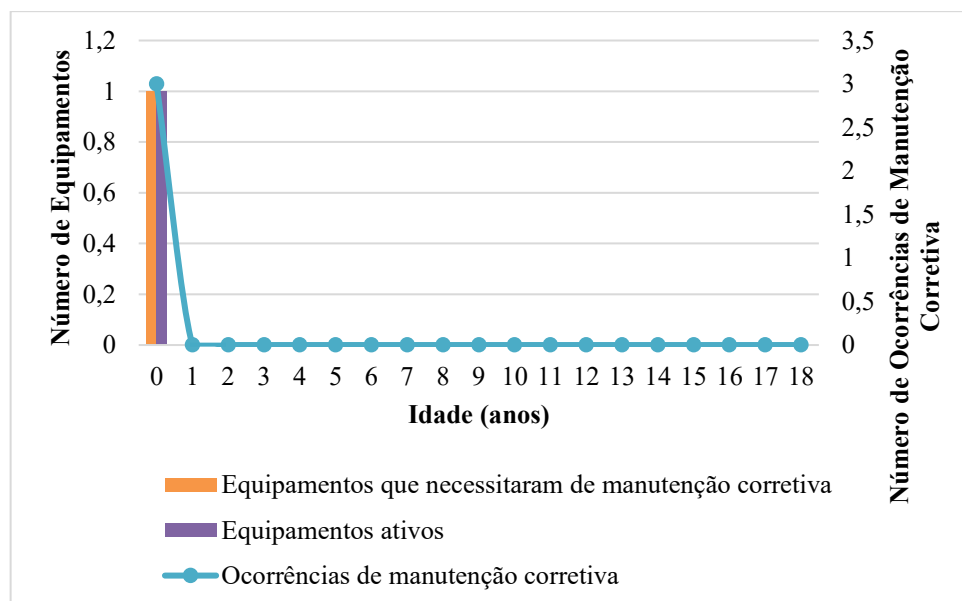
Figura 15 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo K por idade.



O modelo K possui uma média de idade equivalente à 16 anos, se tratando de um modelo de equipamento mais antigo e, portanto, de um equipamento que já está em declínio. Desta forma, este modelo possui em sua base instalada apenas um equipamento, que ao longo do período analisado apresentou no total 3 chamados de manutenção corretiva, sendo que nenhum deles sinalizou máquina parada. Tendo em vista que é esperado que uma máquina mais velha apresente mais problemas, pode-se afirmar que a máquina está dentro do padrão esperado.

4.3.12. Modelo L

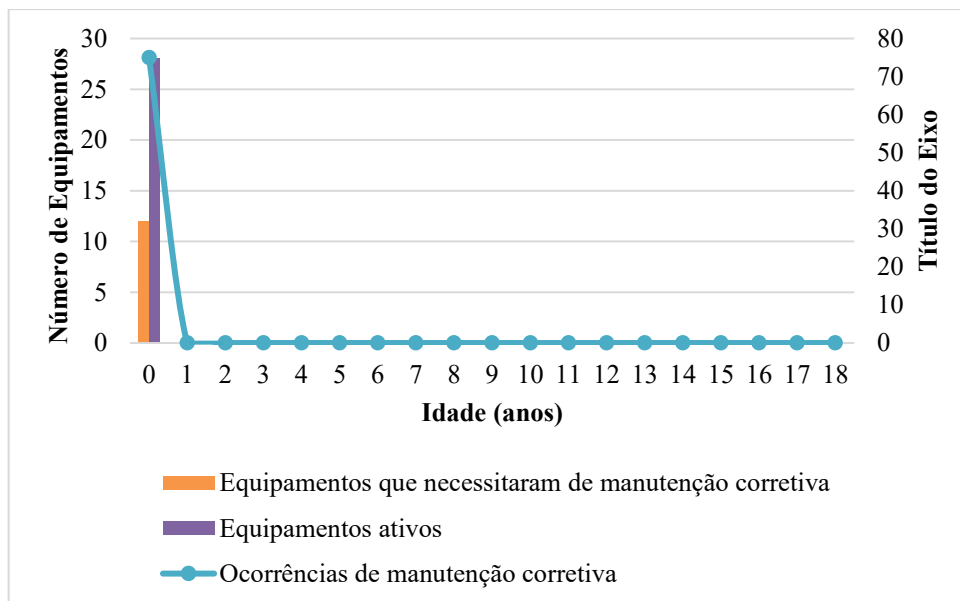
Figura 16 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo L por idade.



Para o modelo L, através do gráfico da Figura 16, foi observado que se tem na base instalada apenas um equipamento ativo e que trata-se de um modelo novo de equipamento, vez que possui menos que um ano de idade. Durante o ano, houve 3 incidências para este único equipamento e em nenhum dos casos teve-se máquina parada, o que é de certa forma esperado por conta da adequação à nova tecnologia. Vale ressaltar que este modelo de equipamento é também aquele que apresenta a maior quantidade de canais no tomógrafo.

4.3.13. Modelo M

Figura 17 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo M por idade.



O modelo M é caracterizado por ser um modelo de equipamento novo, com uma média de idade menor que um ano, e por apresentar a maior base instalada e o maior número de chamados de manutenção dentre os modelos com a mesma faixa etária, totalizando em, respectivamente, 28 equipamentos e 75 ocorrências. Destes equipamentos, 45% necessitaram de manutenção corretiva ao longo do período analisado, apresentando uma média de ocorrências por equipamento equivalente a 2,7. Ao analisar apenas os equipamentos que tiveram problemas (12 equipamentos), esta média aumenta, registrando 6,3 ocorrências de manutenção, sendo que o número máximo de chamados apresentado por um equipamento deste modelo foram 17 chamados.

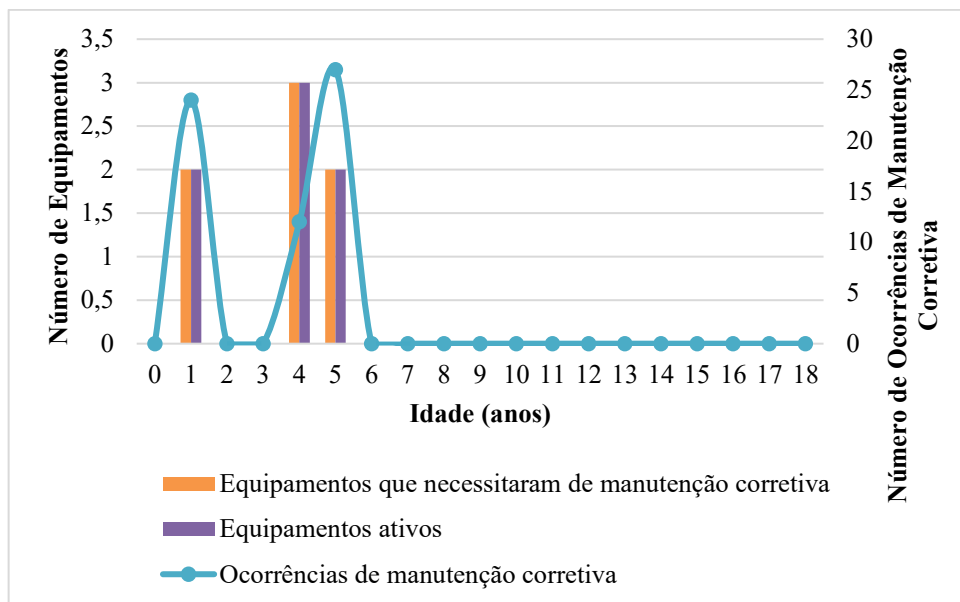
Ao verificar as informações sobre a quantidade de ocorrências em que a máquina apresentou um estado inoperante para este modelo e ao comparar com os modelos novos (de mesma faixa etária), notou-se que este modelo foi aquele que listou o maior número de máquinas paradas (10 equipamentos) e também a maior porcentagem das ocorrências com máquinas paradas (13,33%).

Este modelo se destacou por apresentar os valores mais relevante para alguns tópicos dentre os modelos mais novos. Além disto, entende-se que para este modelo era esperado uma menor quantidade de incidências de manutenção, entretanto é válido ressaltar que as manutenções foram mais recorrentes apenas em alguns equipamentos deste modelo. Também

deve-se levar em consideração a adaptação dos usuários à nova tecnologia apresentada pelo equipamento

4.3.14. Modelo N

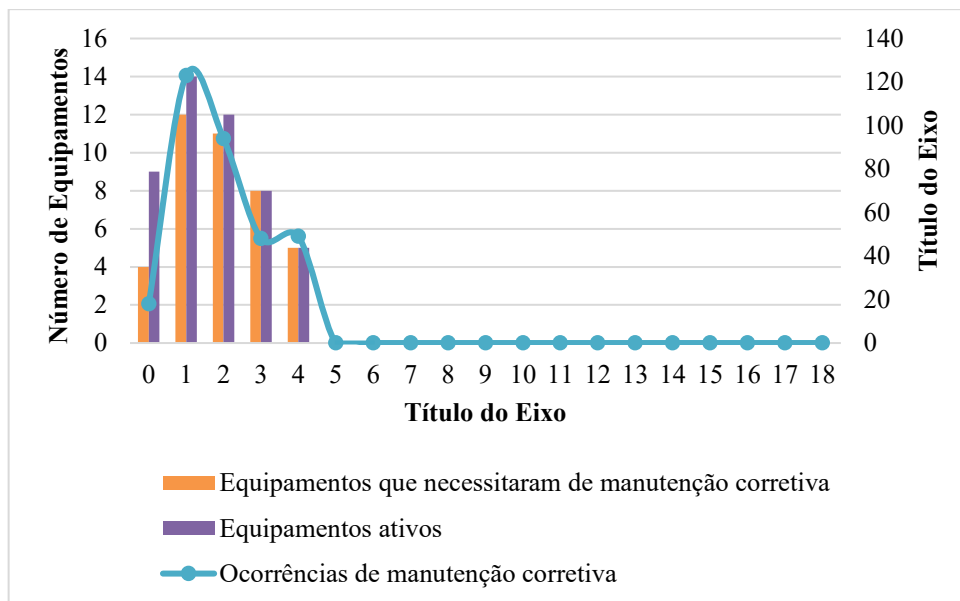
Figura 18 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo N por idade.



O modelo N se encontra em fase de crescimento, visto que sua idade média é 3,4 anos. Dentre os equipamentos com idade entre 1 e 4 anos, é o modelo que apresenta a menor base de equipamentos ativos, sendo 7 no total de 175 equipamentos desta mesma idade. Visto que este valor é pequeno, ao analisar o total de ocorrências para este modelo, nota-se que foram registrados um número considerável de chamados, sendo ao todo 63. Desta forma, este modelo apresenta uma média de ocorrências por equipamento acima da média geral, equivalente a 9,0 chamados por equipamento.

4.3.15. Modelo O

Figura 19 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo O por idade.

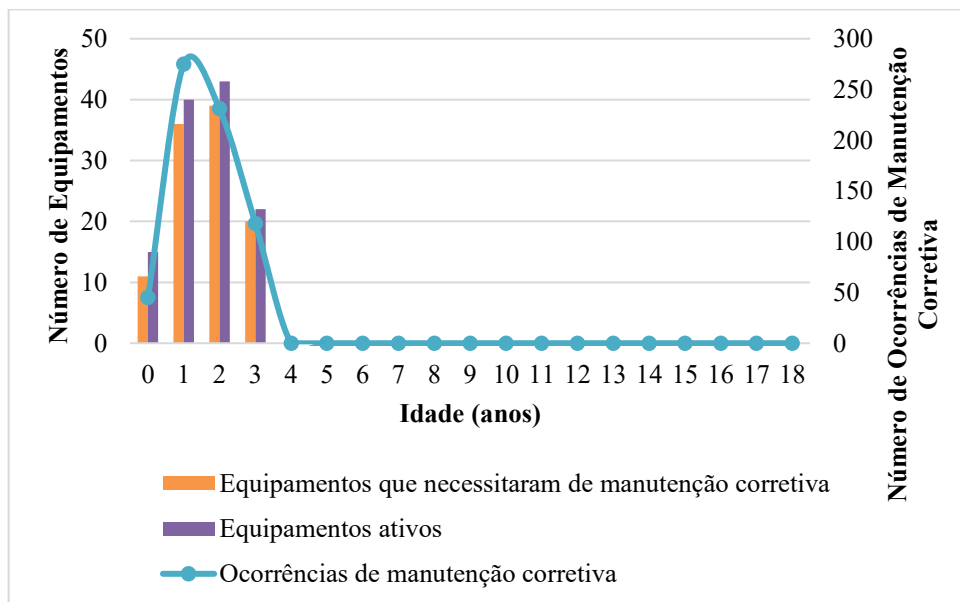


De acordo com o gráfico da Figura 19, o qual representa uma distribuição no tempo para o modelo de tomografia computadorizada O, observa-se que a idade dos equipamentos varia entre 0 e 4 anos, sendo considerado um equipamento em crescimento. Ao verificar a Tabela 6, é possível reafirmar este fato consultando que a média de idade deste equipamento é 1,7 anos.

Este modelo possui 48 equipamentos ativos e registrou no total 332 ocorrências de chamados de manutenção corretiva, o que significa que a média de ocorrências pela base instalada é 6,9. Observa-se que, destes 48 equipamentos, 40 deles apresentaram pelo menos um problema ao longo do período analisado. Também se percebe que o número absoluto de chamados com equipamentos parados foi alta, totalizando em 48 ocorrências, o que, em proporções, pode-se supor que cada máquina registrou o status de parada pelo menos uma vez no ano.

4.3.16. Modelo P

Figura 20 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo P por idade.

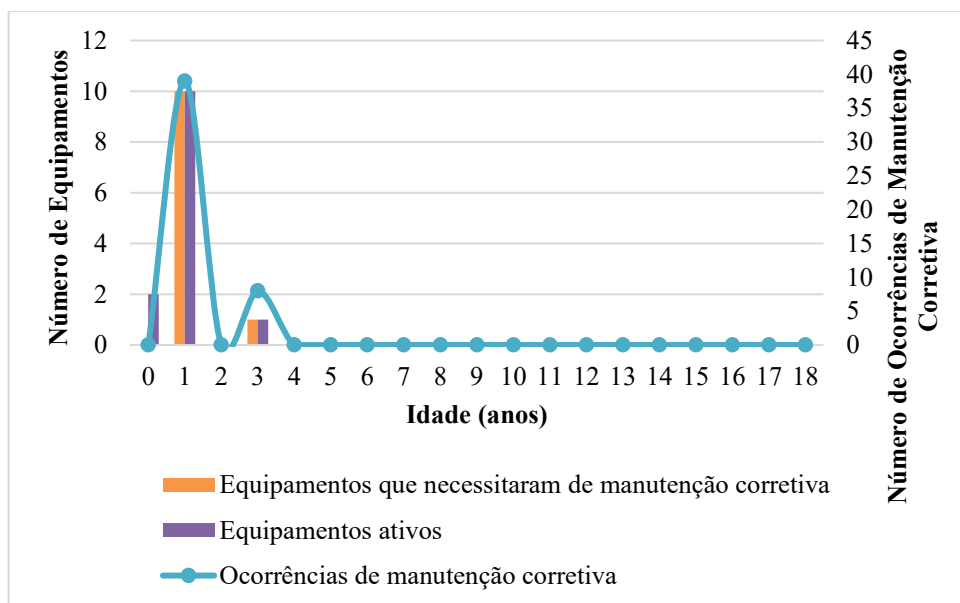


Baseando-se no gráfico da Figura 20, percebe-se que o equipamento do modelo P possui uma base instalada significativa, sendo representada por 120 equipamentos e considerada a terceira maior dentre todos os modelos analisados. Consequentemente, este modelo também apresentou um alto número de incidências de manutenção corretiva e de máquinas paradas, equivalendo a 669 ocorrências e 150 chamados com registro de equipamentos parados, onde número absoluto de máquinas paradas é o terceiro maior dentre os modelos da tomografia computadorizada.

Tendo em vista a média de idade do modelo, este registrou 1,6 anos de idade, sendo considerado um modelo em crescimento, como os modelos N e O. Ao analisar os três modelos juntos, destaca-se o modelo em questão, modelo P, devido à significância da sua base instalada e do volume de ocorrências.

4.3.17. Modelo Q

Figura 21 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo Q por idade.

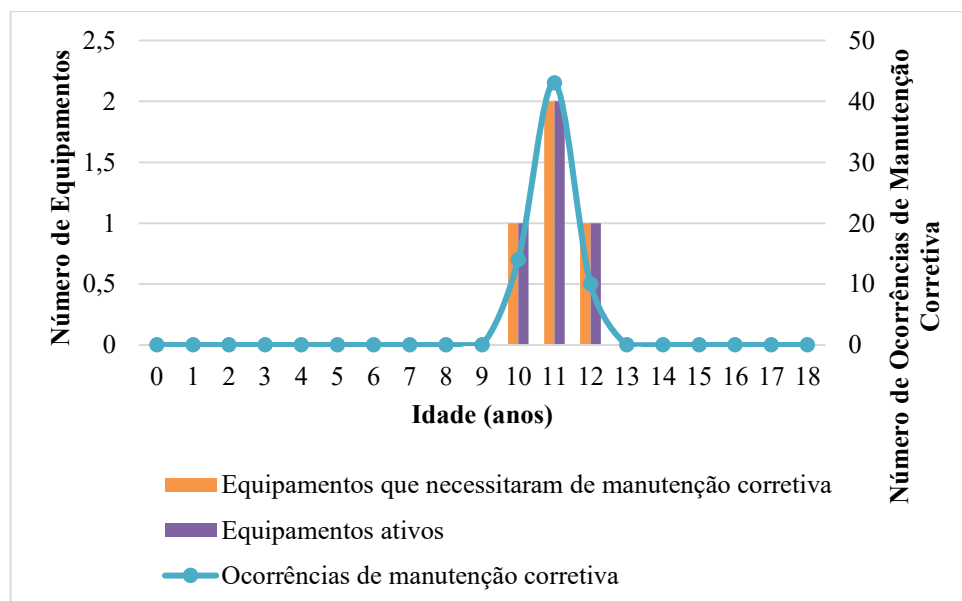


O modelo Q apresentou em média 3,6 ocorrências de manutenção corretiva por equipamento ativo e uma base instalada pouco significativa, totalizando 13 equipamentos. Além disto, a porcentagem de incidências que listaram equipamentos com status parado foi baixa.

Ao avaliar a idade do modelo, registrada na Tabela 6 como 1,2 anos, verificou-se que é um equipamento novo e que está na sua fase de introdução ao mercado. Dentre os demais equipamentos com a mesma faixa de idade, este equipamento se destaca por apresentar a maior média de chamados por equipamento ativo.

4.3.18. Modelo R

Figura 22 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo R por idade.

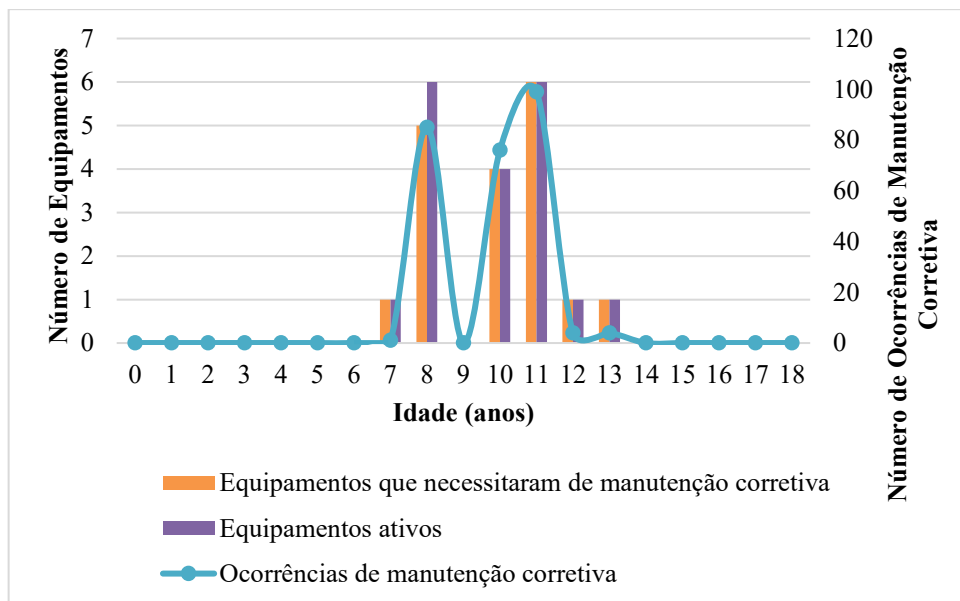


O modelo R se destacou por apresentar a maior média de ocorrências de manutenção corretiva por equipamento ativo (16,8 chamados por equipamento), sendo no total 67 incidências registradas para 4 máquinas. A partir destes valores, entende-se que cada um destes equipamentos presentes na base instalada tiveram uma ocorrência muito alta de problemas onde foram listadas no mínimo 10 chamados para cada equipamento.

Por outro lado, entende-se que se trata de um modelo com uma base instalada reduzida e com uma média de 11 anos de idade, constatando-se que é um modelo antigo. Para este caso, é esperado de se ter muitos problemas, porém este modelo apresenta o pior caso dentre os modelos com idades similares. Vale ressaltar também que é uma amostra pequena e pouco significativa devido ao total de equipamentos ativos.

4.3.19. Modelo S

Figura 23 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo S por idade.

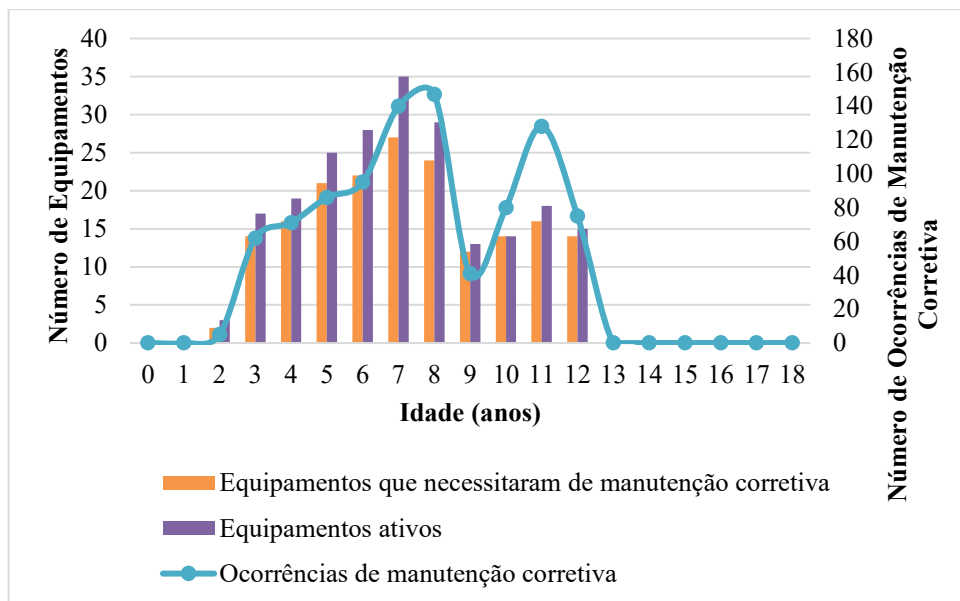


O modelo S possui uma média de idade de 9,8 anos com equipamentos que variam de 7 a 13 anos e, por isso, é considerado um modelo em fase de maturidade. Em números absolutos, este modelo registrou no total 269 chamados de manutenção corretiva para os 19 equipamentos ativos presentes na base instalada, acarretando em uma média de 14,9 chamados por equipamento.

Dentre os quatro sistemas que possuem a mesma faixa etária, este modelo apresenta um cenário pior que dois destes sistemas. Entretanto, este modelo também se destaca entre eles por registrar a menor porcentagem de chamados com equipamentos parados (15,61%).

4.3.20. Modelo T

Figura 24 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo T por idade.



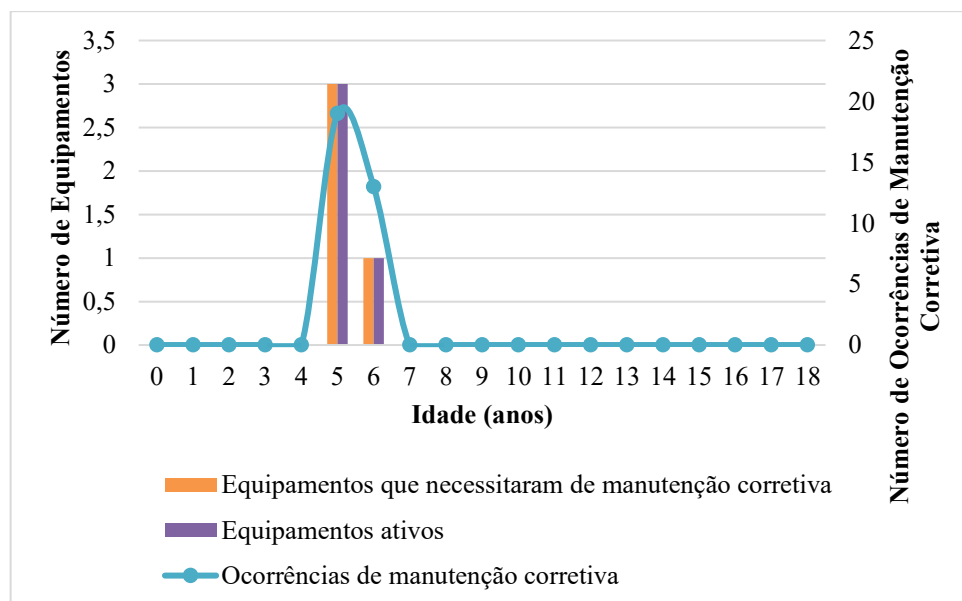
O modelo T apresentou no total 930 chamados de manutenção corretiva, o que representa 17,8% de todos os chamados de manutenção corretiva de tomografia computadorizada. Além disto, por conta desta porcentagem, este modelo é considerado aquele que possui a segunda maior quantidade de incidências.

Em contrapartida, este modelo é também o que possui o maior número de equipamentos ativos, sendo 216 máquinas no total e representando 26,7% da base instalada. Assim, ao avaliar a questão de média de ocorrências por equipamento, observa-se que é um valor é abaixo da média total e, por consequência, não é de alta significância.

Este modelo apresenta uma média de idade de 7,1 anos, sendo constituído por equipamentos de 2 a 12 anos de idade. É, no geral, considerado um equipamento com idade mediana e em fase de crescimento.

4.3.21. Modelo U

Figura 25 - Distribuição dos equipamentos e das ocorrências de manutenção corretiva do modelo U por idade



Para o modelo U, ao avaliar a Tabela 6, constatou-se que a base instalada é reduzida, sendo composta de apenas quatro equipamentos, e que a média de idade é equivalente a 5,3 anos. Ao todo, foram listados 32 chamados de manutenção, o que em média equivale a 8 ocorrências para cada equipamento deste modelo.

Este modelo também apresentou a maior porcentagem de chamados com equipamentos parados (37,50%), o que significa que 12 dos 32 equipamentos deste modelo tiveram um problema classificado como crítico. Entretanto, devido a base instalada ser muito pequena, os dados não são tão significativos.

4.3.22. Análise comparativa entre os modelos

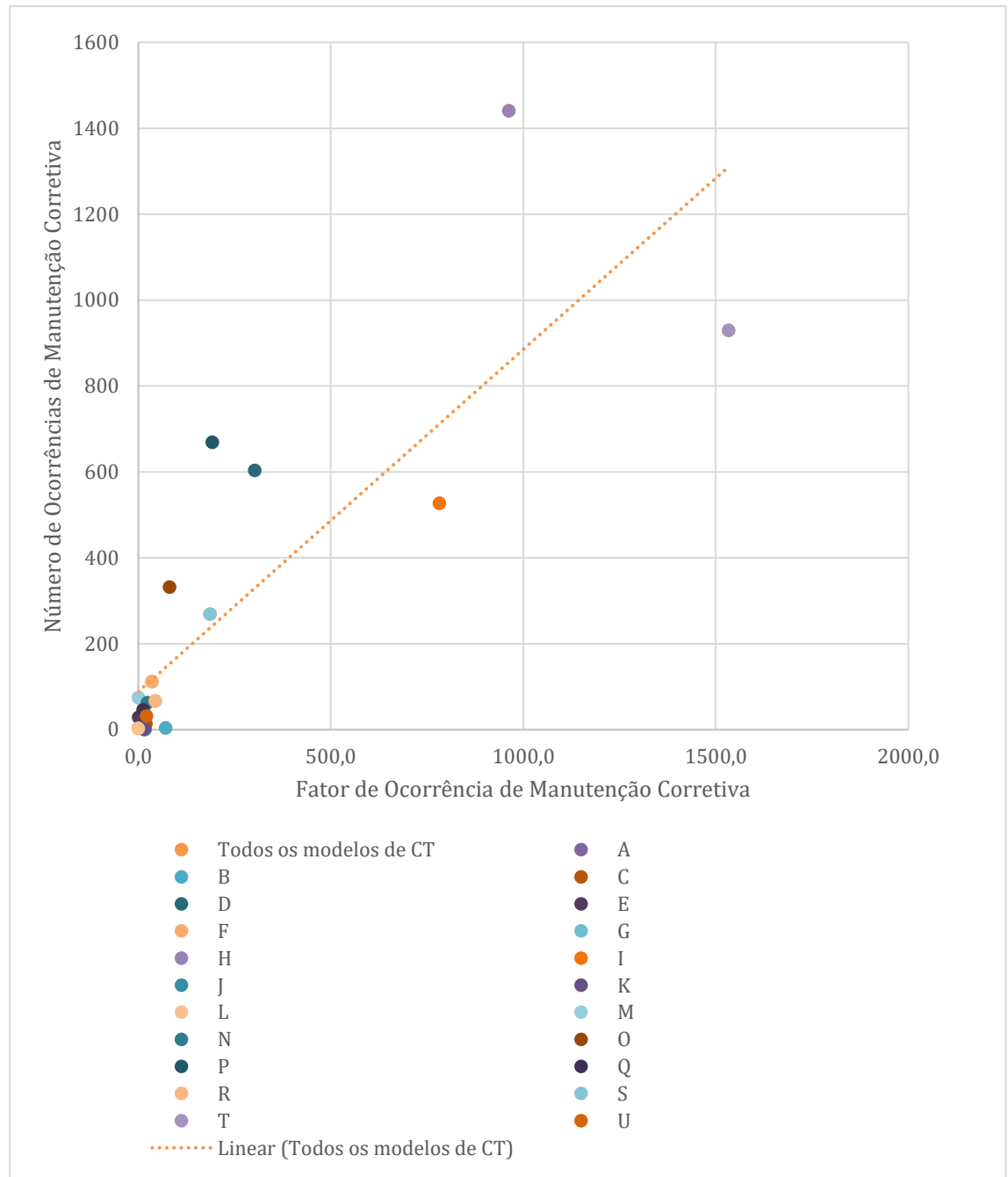
Com o intuito de entender possíveis padrões e comparar os modelos entre si, realizou-se uma análise com base na Indicativo de Ocorrência de Manutenção Corretiva (IOMC), a qual representa a influência que a idade e o tamanho da base instalada do modelo têm sobre as incidências de manutenções corretivas. A métrica foi construída levando em consideração que quanto mais antigo for um equipamento, maior é a chance de apresentar problemas devido ao desgaste e a menor tecnologia. Também se avaliou a questão de que quanto mais equipamentos possui àquele modelo, maior é a chance de se ter um chamado de manutenção corretiva. Assim, é esperado que um modelo com mais equipamentos tenha mais ocorrências

de manutenção corretiva. A Tabela 8 contém os resultados obtidos no cálculo desta métrica e o respectivo número de manutenções corretivas para cada modelo. O gráfico da Figura 26 apresenta todos os pontos da Tabela 8 e estabelece-se uma linha de tendência para os pontos.

Tabela 8 – Análise do Indicativo de Ocorrência de Manutenção Corretiva e número de ocorrências de manutenção corretiva por modelo de tomógrafo.

Modelo	Indicativo de Ocorrência de Manutenção Corretiva	Número de ocorrências de manutenção corretiva por modelo
A	18,0	1
B	71,0	4
C	20,0	13
D	302,4	604
E	1,0	29
F	35,0	112
G	0,0	4
H	962,5	1441
I	782,0	527
J	16,0	0
K	16,0	3
L	0,0	3
M	0,0	75
N	23,8	63
O	81,6	332
P	192,0	669
Q	13,0	47
R	44,0	67
S	186,2	269
T	1533,6	930
U	21,2	32

Figura 26 - Influência da idade e do número de equipamentos ativos do modelo sobre as ocorrências de manutenção corretiva.



A linha de tendência traçada indica os valores médios ou valores esperados de manutenções corretivas para um determinado IOMC, ou seja, trata-se de uma linha de melhor ajuste para o conjunto de dados apresentados. Os pontos que se encontram abaixo da linha de tendência representam equipamentos que tiveram um desempenho melhor do que o esperado visto que apresentaram menos incidências de problemas para aquele IOMC. Já os pontos que

se destacam acima desta linha são mais críticos pois significam modelos que tiveram mais problemas do que o esperado, o que indica que pode se tratar de um modelo com poucos equipamentos e com muitos problemas ou equipamentos muito novos que apresentaram muitas manutenções.

Dentre os 21 modelos analisados, cinco deles apresentaram pontos acima da linha de tendência no gráfico da Figura 26. O ponto que representa o modelo H neste gráfico é o ponto que mais se distanciou da linha de tendência, seguido pelos modelos P, D, O e S.

Os modelos P e O são modelos que possuem uma média de idade relativamente baixa, entre 1 e 4 anos, entretanto uma base instalada significativa ao comparar com outros modelos com idades próximas, sendo, respectivamente, 120 e 48. Já os modelos H e D possuem uma média de idade mediana, entre 4 e 7 anos, e, respectivamente, 63 e 175 equipamentos ativos. Por estas características, estes quatro modelos destacam-se por serem modelos relativamente novos, com até 7 anos de idade, e que apresentaram um alto número de problemas. Em contrapartida, o modelo S apresenta uma média de idade alta, 9,9 anos, e uma base instalada reduzida, totalizando 19 equipamentos. Este cenário retrata o caso de poucos equipamentos que apresentaram muitos problemas, o que se trata de um quadro mais esperado visto que são equipamentos mais antigos. Entretanto, vale ressaltar que o ponto referente a este modelo se encontra acima daquela sugerida pela linha de tendência.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar as incidências de manutenções corretivas dos equipamentos radiológicos de um fabricante, com a finalidade de avaliar o desempenho de cada modelo de tomografia computadorizada. Neste capítulo, é apresentado uma síntese geral do trabalho, explorando os principais resultados obtidos e indicando também sugestões para estudos futuros.

Dentre os equipamentos de raios X, mamografia, terapias avançadas e tomografia computadorizada, em números absolutos, a modalidade terapias avançadas é aquela que apresenta o maior número de equipamentos ativos deste fabricante no Brasil, seguida pelos sistemas de raios X, tomografia computadorizada e mamografia, respectivamente. Ao observar números absolutos de manutenção corretiva, a modalidade tomografia computadorizada se destaca com o maior número de incidência seguida pelos sistemas terapias avançadas, raios X e mamografia. Portanto, constata-se que tomografia computadorizada é aquela que apresenta o maior número de ocorrências de manutenções corretivas por unidade ativa.

Para a modalidade tomografia computadorizada tem-se, em média, 6,3 chamados de manutenção corretiva por equipamento no Brasil, sendo que apenas as regiões Nordeste, Sul e Norte apresentaram médias abaixo deste valor. A região Sudeste registrou o maior número de equipamentos ativos, mas também foi a região que apresentou o maior índice de problemas por equipamento. Da mesma maneira, a região Norte é aquela que possui a menor quantidade de equipamentos, porém é a região que obteve o menor número de problemas por equipamento. Este padrão não é seguido pelas as outras três regiões brasileiras, definindo-se, então, que não existe uma correlação entre as regiões brasileiras e o tamanho da base instalada e as ocorrências de manutenção corretiva.

A partir da análise do Indicativo de Ocorrência de Manutenção Corretiva (IOMC), a qual representa a influência da idade e do número de equipamentos ativos sobre as ocorrências de manutenção corretiva, foi possível verificar que os modelos D, H, O, P e S não apresentaram um desempenho de acordo com o esperado. Quatro destes modelos destacaram-se por serem modelos relativamente novos, com até 7 anos de idade, e que registraram um alto número de problemas. Já o quinto modelo apresentou um quadro mais esperado visto que se trata de equipamentos mais antigos, apresentando poucos equipamentos que apresentaram muitos problemas.

Visto que este estudo apresenta uma vasta dimensão de dados, ele permite que as metodologias realizadas neste trabalho sejam replicadas para as análises das demais modalidades, além do desenvolvimento e a implementação de novos métodos de avaliação das informações de manutenções corretivas. Também é sugerido que trabalhos futuros aprofundem na caracterização dos problemas recorrentes de manutenção corretiva de cada modelo de equipamento, levando em consideração questões de atualizações e softwares.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ALMEIDA, Márcio Tadeu. **Manutenção preditiva: confiabilidade e qualidade**. Banas Qualidade, nov./2009, nº 210, p. 58-63.

ALMEIDA, Lisiane Marcolin; SILVA, Helena Terezinha Hubert. **Equipamento médico-hospitalar: uma gestão na área da saúde**. IJHE-Interdisciplinary Journal of Health Education, v. 1, n. 1, 2016.

AMARO JUNIOR, Edson; YAMASHITA, Helio. **Aspectos Básicos de Tomografia Computadorizada e Ressonância Magnética**. Rev. Bras. Psiquiatr., São Paulo , v. 23, supl. 1, p. 2-3, May 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-44462001000500002>.

BALONI, Jorge Alana. **Física Aplicada a Radiologia I**. 2012.

BRONZINO, Joseph D. **Management of Medical Technology: A Primer for Clinical Engineers**. Butterworth-Heinemann, 1992.

BUSHBERG, Jerrold T. et al. **The Essential Physics of Medical Imaging**. 2. ed. Filadélfia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001. 932 p.

BUSHONG, Stewart Carlyle. **Radiologic Science for Technologists: Physic, Biology and Protection**. 9. ed. Houston, Texas: Elsevier Ltda., 2010. 728 p.

CABRAL, José Paulo Saraiva. **Gestão da Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios**. 2009. Lisboa. Lidel.

GIRALDO, Juan Carlos Ramirez; CLAVIJO, Carolina Arboleda; MCCOLLOUGH, Cynthia H. **Tomografía Computadorizada por Rayos X: Fundamentos y Actualidad**. Rev. ing. biomed., Medellín , v. 2, n. 4, p. 54-66, Dez. 2008.

HENDEE, William R.; RITENOUR, E. Russel. **Medical Imaging Physics**. 4. ed. Nova Iorque: Wiley-liss, 2002. 512 p.

IBGE. **Brasil em números**. 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=72&view=detalhes>>.

LIMA, Rodrigo da Silva; AFONSO, Júlio Carlos; PIMENTEL, Luiz Cláudio Ferreira. **Raios-x: fascinação, medo e ciência**. Quím. Nova, São Paulo , v. 32, n. 1, p. 263-270, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000100044>.

LIMA, José Ricardo Tavares; SANTOS, Alex Álisson Bandeira; SAMPAIO, Renelson Ribeiro. **Sistemas de Gestão da Manutenção – Uma Revisão Bibliográfica Visando Estabelecer Critérios para Avaliação de Maturidade**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 30., 2010, São Carlos. Abrepro, 2010.

LOPES, Sónia Raquel Rodrigues. **Gestão da Manutenção de Equipamentos Médicos no Centro Hospitalar do Algarve, E.P.E., Unidade Hospitalar de Faro**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Universidade do Algarve, Algarve, 2015.

MAHFOUD, Hassana; BARKANY, Abdellah El; BIYAALI, Ahmed El. **A Hybrid Decision-Making Model for Maintenance Prioritization in Health Care Systems**. American Journal Of Applied Sciences, [s.l.], v. 13, n. 4, p.439-450, 1 abr. 2016. Science Publications. <http://dx.doi.org/10.3844/ajassp.2016.439.450>.

MANSO, Joana Maria Dias. **Práticas de Gestão de Equipamentos Médicos no Hospital da Luz**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

MEDEIROS, Camila Beatriz Souza de. **A Engenharia Clínica e Seus Indicadores no Hospital Universitário Onofre Lopes**. 2015. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Departamento de Informática do SUS / Ministério da Saúde – DATASUS: Indicadores e Dados Básicos - Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?idb2012/e18.def>>.

MWANZA, Bupe. G.; MBOHWA, Charles. **An Assessment of the Effectiveness of Equipment Maintenance Practices in Public Hospitals**. *Procedia Manufacturing*, [s.l.], v. 4, p.307-314, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.045>.

NERSISSIAN, Denise Yanikian. **Princípios Físicos em Radiologia**. 2012. 142 p.

RODRIGUES, Andréia Fialho; VITRAL, Robert Willer Farinazzo. **Aplicações da Tomografia Computadorizada na Odontologia**. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, 2007.

SMITH-BINDMAN, Rebecca; MIGLIORETTI, Diana L.; LARSON, Eric B.. **Rising Use Of Diagnostic Medical Imaging In A Large Integrated Health System**. *Health Affairs*, [s.l.], v. 27, n. 6, p.1491-1502, nov. 2008. *Health Affairs (Project Hope)*. <http://dx.doi.org/10.1377/hlthaff.27.6.1491>.