



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

HENRIQUE FERREIRA FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA
MANUTENÇÃO PREVENTIVA ANUAL DOS APARELHOS DE RAIOS X MÓVEL
AQUILLA PLUS 300 VMI DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Uberlândia
2020

HENRIQUE FERREIRA FREITAS

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA
MANUTENÇÃO PREVENTIVA ANUAL DOS APARELHOS DE RAIO X MÓVEL
AQUILLA PLUS 300 VMI DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

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

Orientadora: Profª Drª Selma Terezinha Milagre

Assinatura da Orientadora

Uberlândia
2020

Dedico este trabalho ao Deus a quem eu sirvo, pois segundo minha fé, ele é a razão de tudo. À minha mãe e todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para minha formação.

AGRADECIMENTOS

Durante minha caminhada na Universidade Federal de Uberlândia, muitas coisas mudaram em minha vida, muitas coisas eu aprendi, e a maior delas foi que eu sou um ser totalmente dependente. Dependo de tudo e de todos. E por isso quero agradecer a todos que me ajudaram a chegar até aqui. Sem a ajuda, o incentivo e o apoio de todos que me cercam eu não teria conseguido. Primeiramente, quero agradecer ao Deus do impossível. Graças te dou, meu Deus, por ter chegado até aqui. Quero agradecer a minha mãe que sempre me apoiou, esteve sempre ao meu lado enxugando minhas lágrimas nos momentos difíceis, os quais eu já pensei em desistir, mas os sonhos de Deus são mais altos que os meus e aqui estou para pregar que ele salva, cura, liberta e faz o impossível, basta o homem nele crer. Agradeço ao meu querido pai por sempre confiar em mim, me apoiar e por ter investido em todos os meus projetos.

Quero também agradecer a todos os meus familiares que sempre me incentivaram me colocando num patamar de excelência ao qual estou batalhando para alcançá-lo. Sou grato a cada um dos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado me ajudando e fazendo o meu dia mais feliz. Por fim quero agradecer aos meus professores, minha orientadora Professora Dr. Selma Terezinha Milagre e a todos os funcionários da Bioengenharia, em especial ao técnico Renato Tavares, mas todos de alguma forma me ajudaram a concluir este trabalho, enquanto estagiário do setor aprendi que somos uma equipe que soma forças uns com os outros de forma que todos são importantes para o resultado final.

RESUMO

As imagens radiográficas são de extrema importância nas análises de traumas ósseos e na análise de estruturas da cavidade torácica. Para essa finalidade, utilizam-se nos hospitais, aparelhos de raios x como uma ferramenta técnica para aquisição da imagem médica de interesse. Sendo classificado, pela ANVISA, como um equipamento de alto risco, é necessário assegurar a qualidade, precisão e segurança deste equipamento, uma vez que acarreta a exposição de pacientes e profissionais da saúde a radiação ionizante. É por meio das manutenções preventivas anuais que esse conjunto de verificações é realizado. Assim, nota-se a relevância dessa atividade para garantir a usabilidade do equipamento em questão. Procedimentos como esse, devem ser protocolados em um documento denominado Procedimento Operacional Padrão (POP), o qual instruirá de forma clara e objetiva a sequência de atividades a serem realizadas, para que a manutenção preventiva de qualquer equipamento do mesmo modelo seja realizada de forma padronizada e qualitativa. O Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU) possui 11 equipamentos de raios x móvel da marca VMI, modelo Aquilla Plus 300. Assim, foi escolhido a confecção do POP para esse equipamento, pois até o momento o documento não havia sido confeccionado. Dessa maneira, foi feita uma pesquisa bibliográfica aprofundando conhecimentos no assunto, bem como o princípio de funcionamento desta tecnologia. Além disso, algumas manutenções preventivas convencionais foram acompanhadas no setor Bioengenharia, setor incumbido de manter as tecnologias do HC-UFU em bom estado de funcionamento. Portanto, com essas ferramentas, e com a leitura do manual técnico de serviço do equipamento, foi elaborado o POP da manutenção preventiva, isso é, o conjunto de instruções a serem realizadas para assegurar a qualidade, precisão e segurança nas funcionalidades do equipamento. Espera-se que, com a realização deste trabalho, as boas práticas em Engenharia Clínica sejam efetivadas e que o documento contribua com a difusão dos conhecimentos necessários para a capacitação de profissionais, com o intuito de torná-los aptos a realizarem o devido serviço.

ABSTRACT

Radiographic images are extremely important in the analysis of bone trauma and in the analysis of structures of the thoracic cavity. For this purpose, x-ray machines are used in hospitals as a technical tool to acquire the medical image of interest. Being classified, by ANVISA, as a high risk equipment, it is necessary to ensure the quality, precision and safety of this equipment, since it causes the exposure of patients and health professionals to ionizing radiation. It is through annual preventive maintenance that this set of checks is carried out. Thus, we note the relevance of this activity to ensure the usability of the equipment in question. Procedures like this, must be registered in a document called Standard Operating Procedure (SOP), which will clearly and objectively instruct the sequence of activities to be performed, so that the preventive maintenance of any equipment of the same model is carried out in a standardized manner. and qualitative. The cClinical Hospital of the Federal University of Uberlândia (HC-UFU) has 11 mobile X-ray equipment of the VMI brand, model Aquilla Plus 300. Thus, the manufacture of the POP for this equipment was chosen, as the document had not yet existed. been made. In this way, a bibliographic research was carried out to deepen knowledge on the subject, as well as the principle of operation of this technology. In addition, some conventional preventive maintenance was monitored in the Bioengineering sector, which is in charge of keeping HC-UFU technologies in good working order. Therefore, with these tools, and with the reading of the technical service manual of the equipment, the POP of preventive maintenance was elaborated, that is, the set of instructions to be performed to ensure the quality, precision and safety in the equipment's functionalities. It is hoped that, with the completion of this work, good practices in Clinical Engineering will become effective and that the document will contribute to the dissemination of the necessary knowledge for the training of professionals, in order to make them able to perform the proper service.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema ilustrativo mostrando a formação dos raios x	18
Figura 2 –Painel de comandos com botões para controlar os fatores radiológicos	20
Figura 3 –Imagem radiográfica formada pela diferença estrutural dos tecidos.....	21
Figura 4 – Principais partes do equipamento de raios X Aquilla Plus 300.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – correspondência de valores na calibração da miliamperagem	27
Tabela 2 – correspondência de valores na calibração da kilovoltagem	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

EMA – Equipamento Médico-Assistencial

HC-UFU – Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia

KV – Kilovoltagem

LF – *Large Focus* (Foco grosso)

mA – Miliamperagem

mAs – tempo de exposição

POP – Procedimento Operacional Padrão

SUS – Sistema Único de Saúde

SF – *Small Focus* (Foco fino)

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. DESENVOLVIMENTO	13
2.1 Fundamentação Teórica	13
2.1.1 HC-UFU	13
2.1.2 Bioengenharia.....	13
2.1.3 Engenharia Clínica	14
2.1.4 Manutenções em Equipamentos Médico-Assistenciais.....	15
2.1.5 Procedimento Operacional Padrão	17
2.1.6 Princípio de funcionamento de um equipamento de raios X	18
2.1.6.1 Radiação de frenamento.....	19
2.1.6.2 Radiação característica	19
2.1.6.3 Fatores radiológicos	20
2.1.7 Formação da imagem radiográfica	21
2.1.8 Equipamento de raios X Aquilla Plus 300	21
2.1.8.1 Principais partes do equipamento	21
2.1.8.2 Sistema eletrônico	22
2.1.8.3 Sistemas mecânicos	23
2.1.8.4 Instrumentação técnica	23
2.1.8.5 Informações gerais do equipamento	23
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	23
2.2.1 Verificar as travas de segurança	24
2.2.2 Verificar o freio do equipamento	25
2.2.3 Checklist eletrônico	26
2.2.4 Calibração da miliamperagem	26
2.2.5 Calibração da kilovoltagem	27
2.2.6 Verificar fixação do colimador	28
2.2.7 Limpeza das conexões dos cabos de alta tensão	28
2.2.8 Limpeza externa	29
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
3. CONCLUSÃO	30
4. REFERÊNCIAS.....	31
ANEXO A	33
APÊNDICE A	37

1. INTRODUÇÃO

A inserção da tecnologia na saúde faz da contemporaneidade um período em que a fluidez e sofisticação de serviços médicos e hospitalares proporcione cada vez mais qualidade, segurança e precisão nos procedimentos realizados. Dessa forma, as novas ferramentas que vão surgindo oferecem aprimoramento e inovação das técnicas convencionais, resultado da atual dependência de um parque tecnológico hospitalar tão criterioso quanto os serviços demandados nos estabelecimentos de saúde (COUTINHO, 2019).

Nesse contexto, o Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU) conta com um parque tecnológico composto por 24 famílias de Equipamentos Médico-Assistenciais (EMA) e de outros tipos, classificados de acordo com definições propostas à Bioengenharia, somando mais de 10000 equipamentos. Para manter essas tecnologias em bom funcionamento, o hospital conta com o setor Bioengenharia, o qual realiza uma série de serviços em Engenharia, entre eles, serviços em Engenharia Clínica (GODÓI, 2016).

Nessa área em específico, uma equipe composta por Engenheiros, técnicos e estagiários realizam, diariamente, diversas funções para manter os equipamentos do hospital sempre habilitados para uso, frente à grande demanda. Entre essas funções realizadas pelos funcionários do setor estão as manutenções corretivas e preventivas.

Esses dois tipos de manutenções são essenciais para garantir a usabilidade das tecnologias hospitalares, uma vez que para serem entregues ao ambiente hospitalar, os equipamentos precisam oferecer confiabilidade e precisão nas funcionalidades esperadas. Para tal requisito, as manutenções preventivas são uma das atividades mais realizadas pelo setor de Engenharia Clínica (VILHENA et al., 2017; ALVES, 2016).

Dessa forma, é necessário garantir e instruir os procedimentos a serem realizados em qualquer manutenção preventiva, a fim de assegurar a qualidade e padronização dos serviços prestados pelos diferentes profissionais. Assim, o serviço em questão cumprirá seu propósito, que é manter e certificar que o equipamento está apto para uso (LUCATELLI, 1998).

Portanto, para a realização deste trabalho, foi escolhido o equipamento de raios X móvel Aquilla Plus 300 para a confecção de um Procedimento Operacional Padrão

(POP) para a manutenção preventiva anual, a fim de entregar ao setor um protocolo para uso técnico, contribuindo com a qualidade dos serviços prestados pela Bioengenharia.

1.1 Objetivo Geral

A finalidade principal deste trabalho foi desenvolver o Procedimento Operacional Padrão (POP) para manutenção preventiva anual do equipamento de raios X móvel da marca VMI, modelo Aquilla Plus 300.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o funcionamento dos equipamentos de raios X como uma técnica para formar imagens radiográficas;
- Estudar as subpartes do equipamento responsáveis por suas principais funcionalidades;
- Conhecer o modelo Aquilla Plus 300;
- Acompanhar e analisar como as manutenções preventivas anuais são realizadas no equipamento;
- Ler o manual técnico de serviço;
- Colher informações e recomendações dos profissionais da Bioengenharia;
- Levantar as necessidades que o aparelho em específico demanda para funcionar em estado ideal;
- Levantar os materiais que o setor dispõe para a realização do serviço;
- Estudar as atividades a serem realizadas na manutenção preventiva;
- Redigir um documento em sequência textual injuntiva em linguagem clara e objetiva que instrua novos técnicos na execução do serviço;
- Padronizar e formalizar, por meio da confecção do POP, a maneira como a preventiva deste modelo de equipamento é feita no HC-UFU.
- Assegurar, por meio do cumprimento da sequência de atividades, que a manutenção preventiva anual no equipamento será realizada de forma qualitativa, uma vez que todos os passos devem ser executados;
- Contribuir com a difusão dos conhecimentos necessários para realizar a manutenção preventiva deste modelo de equipamento de Raio X;
- Apresentar este trabalho como requisito necessário para conclusão do curso Graduação em Engenharia Biomédica na Universidade Federal de Uberlândia.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fundamentação Teórica

2.1.1 HC-UFU

O HC-UFU é uma instituição que foi fundada em 1970, com o intuito de ser a unidade de ensino para o ciclo profissionalizante do curso de Medicina da Escola de Medicina e Cirurgia de Uberlândia. Iniciou suas atividades com apenas 27 leitos, e hoje, o hospital possui 535 leitos. A equipe profissional conta com cerca de 3400 funcionários. Realizando, diariamente, em média 2700 procedimentos de alta e média complexidade, a instituição é considerada o maior hospital-escola financiado pelo Sistema Único de Saúde (SUS) em Minas Gerais. Sendo, inclusive, referência em atendimento no triângulo mineiro e nas regiões adjacentes.

A estrutura física do hospital destinada a atendimentos é dividida em 30 unidades, sendo classificadas em unidades de internação, ambulatoriais, cirúrgicas, de urgência e emergência; somando um total de 187 consultórios e 112 salas para consultas não-médicas e procedimentos (HC-UFU, 2020). Foi, portanto, nesta instituição que se deu o ponto de partida inicial para a realização do presente trabalho.

2.1.2 Bioengenharia

A Bioengenharia é o setor do HC-UFU responsável por prestar ao hospital serviços em Engenharia. A necessidade por esses serviços é altíssima, pois o hospital é um dos maiores do país. Além disso, o hospital possui mais de 50 anos de funcionamento, o que justifica o alto número de serviço demandados, visto que a estrutura do local, bem como os equipamentos do hospital devem ser mantidos em ótimo estado.

Dessa maneira, o setor é subdividido em Engenharia Civil, Clínica, Elétrica, Mecânica, Arquitetura etc. A cada um desses setores lhe compete determinadas funções pertinente a área de atuação. Assim, em conjunto, os profissionais como engenheiros, técnicos e arquitetos oferecem ao hospital uma equipe capacitada que presta serviços em Engenharia de forma instantânea e otimizada.

Constata-se, por meio de estudos, que a criação do setor trouxe lucros ao hospital, uma vez que a terceirização de cada um desses serviços demandaria um gasto público maior para a contratação de empresas particulares. Portanto, em relação a Engenharia Clínica, a Bioengenharia proporciona ao hospital profissionais idôneos

que mantêm os Equipamentos Médico-Assistenciais (EMA) em estado ideal de funcionamento. Assim, acompanhando as atividades técnicas realizadas nesse setor, foi realizado o trabalho de campo necessário para o estudo (OLIVEIRA, 2017).

2.1.3 Engenharia Clínica

A Engenharia Clínica constitui uma das áreas da Engenharia Biomédica. Essa última, por ser mais ampla, abrange diversas áreas do conhecimento, bem como Imagens Médicas, Processamento de Sinais Biomédicos, Instrumentação Biomédica, Bioinformática, Engenharia de Reabilitação etc. Entretanto, todas essas áreas envolvem tecnologias voltadas para a área da saúde, resumindo em uma boa definição para a Engenharia Biomédica (ENDERLE, 2005).

Em particular, a Engenharia Clínica possui uma atuação mais direta nas tecnologias voltadas para a área da saúde. Sendo o hospital o principal campo de atuação do Engenheiro Clínico, esse profissional é responsável por gerenciar a aquisição, instalação, manutenção e qualidade dos EMA do ambiente hospitalar. Por esse motivo, o profissional deverá estar apto para tomar grandes decisões, que implicam em consequências importantes, as quais precisam alcançar resultados otimizados (GORDON, 1990).

É uma área de atuação que envolve uma série de possíveis riscos, pois as tecnologias são passíveis a erros e a maioria das aplicações envolvem de forma direta ou indireta interação com pacientes. Alguns equipamentos são, inclusive, invasivos, o que aumenta os riscos de ocorrerem eventos adversos. Outros equipamentos, como os de imagens médicas, embora não sejam invasivos, são considerados equipamentos de alto risco por serem capazes de emitir radiação ionizante, o que demanda um alto nível de rigor para que o procedimento de interesse seja seguro.

Dessa forma, o Engenheiro Clínico precisa conhecer as mais diversas ferramentas que o hospital possui. É essencial a esse profissional saber o princípio de funcionamento básico de cada tecnologia, bem como conhecer as diversas marcas e modelos disponíveis no mercado. Assim, por meio da experiência e das informações acumuladas ao longo de sua formação, o Engenheiro Clínico será capaz de gerenciar o parque tecnológico hospitalar, a fim de manter os EMA em um estado ideal de funcionamento (GORDON, 1990). Nesse sentido, foi por meio dos princípios da Engenharia Clínica que o presente trabalho foi direcionado.

2.1.4 Manutenções em Equipamentos Médico-Assistenciais

Em geral, os tipos de manutenções mais frequentes em Equipamentos Médico-Assistenciais (EMA) são as corretivas e as preventivas. As manutenções corretivas são demandadas quando determinada funcionalidade de um equipamento está comprometida parcialmente ou totalmente, de forma que o impasse impossibilite que o equipamento cumpra plenamente sua função. Essas correções são intempestivas, uma vez que as causas do problema, em muitas ocasiões, são decorridas do mal uso do equipamento (LUCATELLI, 1998).

Assim, o tempo de vida útil do equipamento pode ser comprometido, pois o mal uso, a longo e curto prazo, vai causando danos ao hardware. O acúmulo de defeitos, ao longo do tempo, vai comprometendo o funcionamento do equipamento até que certa disfunção seja percebida. Ao serem detectados os defeitos, os equipamentos são enviados para manutenção corretiva, e seu uso só é permitido após correção e um rigoroso teste de qualidade.

Além do mal uso, os equipamentos também se deterioraram com o tempo. Alguns continuam funcionando após expirar o tempo de vida útil. Porém, o ideal seria que a tecnologia fosse substituída em razão da obsolescência e insegurança. Entretanto, a realidade que muitos hospitais públicos enfrentam é o corte de verbas cada vez maior, de forma que os recursos destinados em cada setor se tornam limitados e comprometidos.

Como resultado desse cenário, há uma grande demanda em manutenções corretivas para que os hospitais consigam prosseguir com o alto número de atendimentos. Em vista disso, as manutenções preventivas são atividades importantes que auxiliam na redução do grande número de manutenções corretivas.

Ademais, é necessário testar os equipamentos periodicamente, assegurando que ele tem cumprido sua função, sob um rigoroso controle de qualidade. Essa é uma das razões que justificam a execução das preventivas, é por meio desse serviço que os testes de funcionamento são realizados. Assim, como o próprio nome sugere, as preventivas são manutenções realizadas com o intuito de evitar futuras correções, uma vez que pequenos ajustes realizados inicialmente evitam grandes problemas de funcionamento quando detectados tardiamente (NUNES, 2001; SILVA, 2017).

Em geral, para a execução das manutenções corretivas o profissional que realiza o serviço precisa passar por um treinamento especializado. Dessa forma, após a capacitação, o técnico estará habilitado para abrir o equipamento, encontrar defeitos e realizar as correções. No entanto, a complexidade da maioria dos equipamentos é muito grande, o que exige informações específicas que podem ser encontradas no manual de serviço (CALIL, 2002).

Além disso, há uma grande diversidade de defeitos que os equipamentos podem apresentar, o que reforça a ideia que é necessário capacitação para lidar com esse tipo de serviço. Ao passo que na manutenção preventiva não é necessária uma especialização ou capacitação especial por parte do fornecedor. O requisito mínimo que este profissional precisa ter é a formação técnica, uma vez que irá trabalhar com circuitos eletrônicos.

Desse modo, dispondo as ferramentas técnicas necessárias e o Procedimento Operacional Padrão, o técnico poderá realizar as manutenções preventivas dos equipamentos. É importante salientar que os eventos adversos encontrados no decorrer do procedimento devem ser registrados. Assim, ao final das atividades, o equipamento deverá ser enviado para a manutenção corretiva.

Essa dinâmica entre os tipos de manutenções e os profissionais que a executam, otimizam o tempo gasto em bancada. Primeiramente, constata-se que a realização das preventivas nos devidos prazos reduzem o número de corretivas e, conseqüentemente, o acúmulo de serviço. Em segundo lugar, qualquer profissional técnico do setor pode realizá-la, sem a necessidade de uma alta especialização no equipamento (BORGES, 2014; CASTRO, 2015).

Portanto, as manutenções corretivas e preventivas se complementam. Sendo as corretivas geradas intempestivamente e as preventivas periodicamente. Nas corretivas é necessário uma capacitação especial e consulta no manual, ao passo que a preventiva possui periodicidade pré-definida, sendo composta por uma sequência de atividades, tais como verificação do estado do equipamento, limpeza, testes, calibrações e eventual substituição de peças; podendo ser realizada por toda a equipe técnica com o auxílio de um POP. Assim, a relevância deste trabalho se justifica pela importância da realização das manutenções preventivas nos EMA.

2.1.5 Procedimento Operacional Padrão

O Procedimento Operacional Padrão (POP) é um documento que auxilia a realização da manutenção preventiva de forma a padronizar as atividades a serem realizadas e assegurar a qualidade dos serviços executados. Esse serviço pode ser realizado por diversos profissionais do setor de Engenharia Clínica. Sendo assim, para que o serviço final realizado por cada um seja homogêneo, é necessário que todos sigam o protocolo (VILHENA et al., 2017).

O documento deve ser redigido por um profissional da área, sendo uma das funções do Engenheiro Clínico gerenciar tais processos. Os usuários que lerão o protocolo são, em geral, profissionais com formação técnica. Por esse motivo, o documento deve ser didático, afinal, uma de suas finalidades é instruir o funcionário inexperiente na execução do serviço. Portanto, o texto final deve ser claro, objetivo e o mais ilustrativo possível (DUARTE, 2005).

Os manuais de serviço dos equipamentos informam as principais atividades que devem ser realizadas nas manutenções preventivas e a periodicidade recomendada. Todavia, não há um texto redigido na sequência injuntiva, de forma clara e em linguagem simples instruindo o profissional. É por esse motivo que se justifica a confecção do POP, pois é por meio desse documento que impasses como esses são contornados.

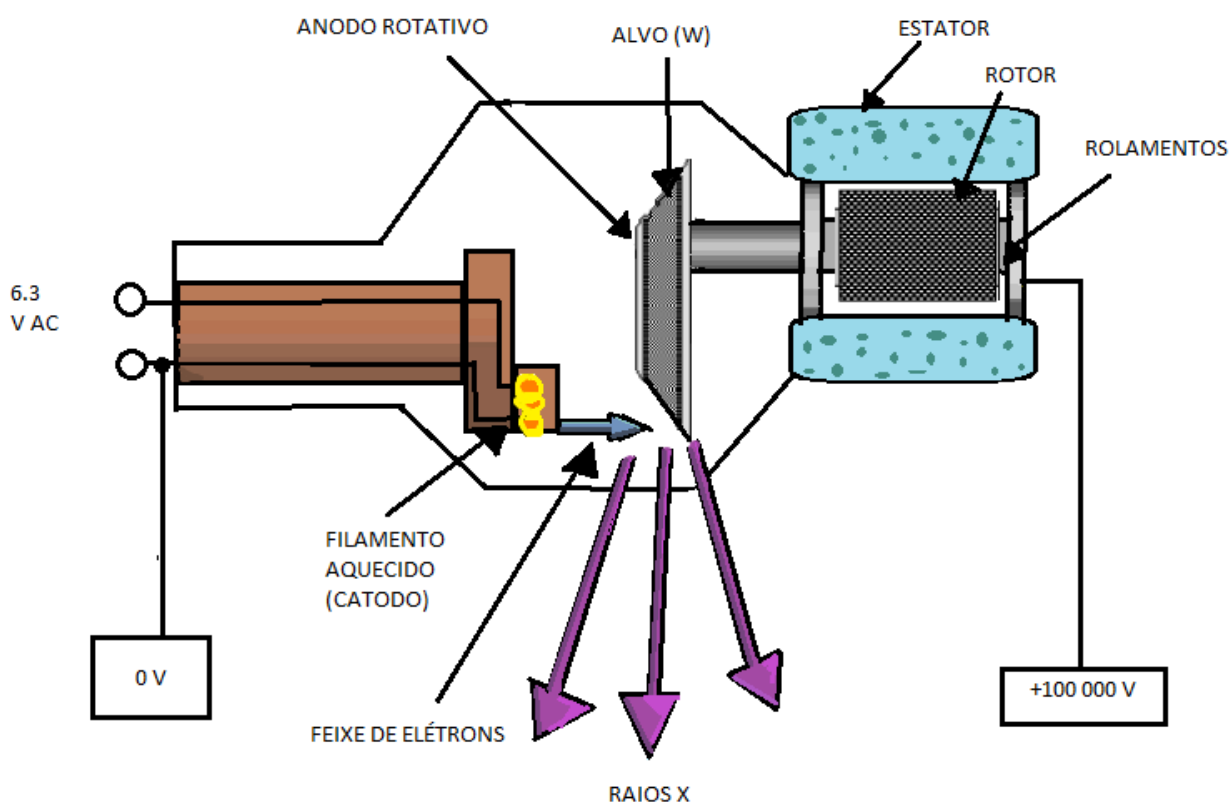
Assim, para confeccionar o protocolo, o autor do documento precisa, primeiramente, conhecer o princípio de funcionamento do equipamento para entender suas funcionalidades. Para tal, a leitura do manual e a busca por informações complementares deve ser realizada. Tendo em mente a compreensão do funcionamento ideal dos equipamentos, deve-se levantar os requisitos necessários, como eventuais materiais específicos a cada equipamento e as ferramentas que o setor dispõe, adequando o serviço à realidade do hospital (DUARTE, 2005).

Dessa forma, sob recomendações do fabricante, é feito um estudo para implementar as atividades a serem realizadas. Então, o documento é redigido em linguagem simples para facilitar o entendimento. Para tal fim, usa-se figuras ilustrativas. Assim, tendo à disposição o equipamento, o POP e as ferramentas demandadas pelo próprio documento, será possível a realização da manutenção preventiva por qualquer profissional da Engenharia Clínica. Esses foram os princípios usados na implementação do POP da manutenção preventiva deste trabalho.

2.1.6 Princípio de funcionamento de um equipamento de raios X

A Figura 1 mostra o esquema ilustrativo da formação de raios x. Dentro do tubo de raios x há um filamento aquecido, o catodo; e um alvo de metal pesado (W), o anodo rotativo. Os raios x são formados quando elétrons acelerados em alta velocidade, produzidos no catodo, se chocam com o anodo girando em alta velocidade. Assim, há dois circuitos internos. O primeiro está relacionado ao filamento aquecido, sendo responsável por formar uma nuvem de elétrons (mA); o outro é o circuito de alta tensão, responsável por produzir uma diferença de potencial (KV) entre o polo negativo (catodo) e o polo positivo (anodo) (BRONZINO, 2006).

Figura 1: esquema ilustrativo mostrando a formação dos raios x



Fonte: Do autor.

Os parâmetros relacionados à essa técnica são: mA (corrente do filamento aquecido, conhecida como Miliamperagem), mAs (produto da corrente pelo tempo, conhecido como tempo de exposição) e KV (diferença de potencial entre o anodo e o catodo, conhecida como Kilovoltagem). Esses parâmetros são chamados na Radiologia de fatores radiológicos, eles são manipulados através do painel de comandos do equipamento. Tais parâmetros auxiliam na escolha dos fatores energéticos.

Ao aumentar o parâmetro mA ou mAs, mais elétrons serão atirados ao anodo, e consequentemente mais fótons de raios X serão formados. Da mesma forma é possível controlar o KV. Esse último está relacionado a energia cinética dos elétrons. Ao aumentá-lo, os elétrons serão atirados a uma maior velocidade, consequentemente os fótons de raios X terão mais energia, isso é, irão adquirir um maior poder de penetração. O KV determina, além do poder de penetração, a qualidade do feixe de raios x formado (CLARK, 2010).

Para efetuar um disparo, há ativação do circuito de corrente, fazendo com que o filamento se torne aquecido, produzindo uma nuvem de elétrons. Ao mesmo tempo, o anodo entra o funcionamento e começa a girar, neste momento o tubo está preparado para produzir os raios X, bastando apenas receber o comando para que os elétrons no filamento sejam atraídos pelo anodo. Essa interação pode produzir radiação de frenamento ou radiação característica, a depender da maneira como a interação ocorre (BRONZINO, 2006).

2.1.6.1 Radiação de frenamento

Na radiação de frenamento, o elétron incidente ao passar próximo ao núcleo do elemento constituinte do anodo será por ele atraído, sendo desacelerado e mudando sua trajetória. O elétron incidente, que antes estava com uma energia cinética elevada tende a diminuir essa quantidade de energia cinética, essa diminuição de energia é emitida em forma de raio x. Assim, a perda de energia cinética emitida é chamada de radiação x de frenamento (SONKA, 2000).

2.1.6.2 Radiação característica

Na radiação característica, se o elétron incidente possuir energia suficiente para ejetar um elétron do anodo que esteja em órbita, este elétron ejetado deixa um espaço vazio em sua órbita, de forma que o átomo fique instável. Na busca por estabilidade, um elétron na camada mais externa irá transacionar para esse espaço vazio. Durante essa transição, são emitidos fótons de raio x denominados raio x característico. Essa radiação se soma ao espectro de radiação de frenamento, compondo os feixes responsáveis pela formação da imagem radiográfica (SONKA, 2000).

2.1.6.3 Fatores radiológicos

Geralmente, nos equipamentos de raios x, o mA varia de 50 a 500. Essa variação determina os chamados foco fino (SF) e foco grosso (LF). Isto é, quando se quer realizar um exame a fim de se obter mais detalhes, como imagem de coluna vertebral, normalmente se usa o foco fino, variando entre 50 a 150mA. Por outro lado, quando se quer realizar um exame que não requer muitos detalhes, como exemplo, a radiografia de tórax, utiliza-se o foco grosso, que varia de 200 a 500 mA (BRONZINO, 2006).

O mAs, conhecido como tempo de exposição, é o que determina a dose de radiação por tempo em que o paciente será submetido no procedimento. Os valores desses parâmetros se relacionam de modo a estabelecer um equilíbrio, interferindo diretamente na qualidade da imagem. Quando se utiliza um alto mA, deve-se compensar diminuindo o mAs, e vice-versa, pois se há uma grande produção de fótons, o tempo de exposição não precisa ser tão longo. Porém, se é solicitado uma baixa quantidade de fótons a serem produzidos, baixo mA, deve-se aumentar o tempo de exposição, ou seja, um maior mAs. Assim, não se utiliza altos ou baixos valores simultaneamente para ambos parâmetros (CLARK, 2010).

A Figura 2 mostra um exemplo de painel de comandos com botões para controlar os fatores radiológicos.

Figura 2: Painel de comandos com botões para controlar os fatores radiológicos



Fonte: Do autor.

2.1.7 Formação da imagem radiográfica

O corpo é constituído por diferentes tecidos, cada um com estruturas que possuem diferentes densidades. Ao serem expostas pelos raios X, a interação entre a radiação e os diferentes tecidos é peculiar a cada estrutura. Cada um tende a atenuar mais ou menos os fótons de energia que atravessam o corpo. Alguns tecidos podem, inclusive, bloquear a passagem de certos fótons. Entretanto, são os fótons que atravessam o corpo os responsáveis por formar as imagens radiográficas, uma vez que, cada fóton, a depender da região, pressionará o filme ou a tela intensificadora com certa energia. Essa diferença de sensibilização é convertida em contraste, o que permite a formação da imagem para visualização das estruturas internas (WEBB, 2003).

Na Figura 3 pode-se visualizar um exemplo de imagem radiográfica formada pela diferença estrutural dos tecidos.

Figura 3: Imagem radiográfica formada pela diferença estrutural dos tecidos



Fonte: Unimed-BH.

2.1.8 Equipamento de raios X Aquilla Plus 300

Foi feito o levantamento das principais características do equipamento a saber, bem como suas funcionalidades e relações com o modo de instrumentação técnica, requisitos fundamentais na realização do presente estudo.

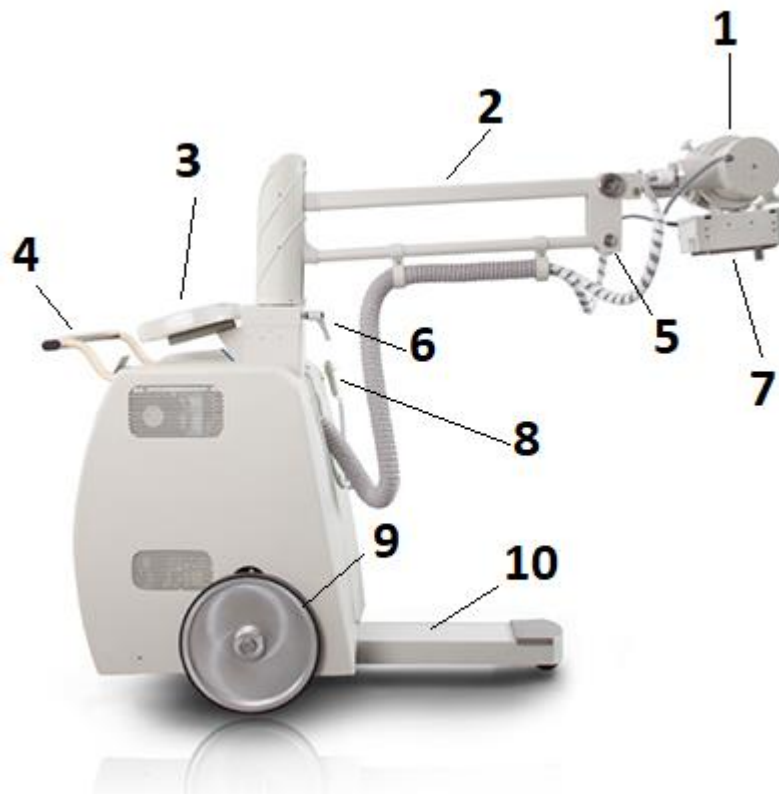
2.1.8.1 Principais partes do equipamento

As principais partes do equipamento estão esquematizadas na Figura 4, sendo:

- 1- Ampola de raio x
- 2- Braço

- 3- Painel de comandos
- 4- Freio manual
- 5- Trava de altura da ampola
- 6- Trava de angulação
- 7- Colimador
- 8- Disparador manual
- 9- Rodas
- 10- Base

Figura 4: Principais partes do equipamento de raios X Aquilla Plus 300



Fonte: PHILIPS.

2.1.8.2 Sistema eletrônico

O conjunto de placas eletrônicas de comandos e de alimentação se localizam sobre a base do equipamento. O funcionamento do conjunto, bem como suas configurações, podem ser acessados e ajustados no painel de comandos, por meio de um *CHECKLIST* ELETRÔNICO disponível no *SETUP* do sistema. Dessa forma, é possível detectar eventuais falhas nas placas do sistema (PHILIPS, 2014).

2.1.8.3 Sistemas mecânicos

Este equipamento foi criado com o propósito de ser portátil. Por esse motivo, é dotado de duas rodas traseiras e uma frontal localizada abaixo da base. Assim, é possível transportar o equipamento com relativa facilidade. Para tal, o equipamento possui freio manual, o qual pode ser acionado em rampas íngremes. Além disso, o braço do equipamento realiza movimentos de rotação e translação (PHILIPS, 2014).

2.1.8.4 Instrumentação técnica

A ampola de raios X é o local onde os raios x são produzidos. Através das travas de altura e da angulação, deve-se manter a ampola fixa em um ponto desejável para se obter a imagem radiográfica. Ademais, é necessário regular o colimador, pois esta é a peça responsável por controlar o campo a ser radiado. Feito isso, parte-se para o painel de comandos para determinar a dose de radiação a ser aplicada no paciente. A seguir, o disparo pode ser realizado pelo próprio painel ou pelo disparador manual, o qual oferece ao profissional um distanciamento maior (PHILIPS, 2014).

2.1.8.5 Informações gerais do equipamento

- Produto: aparelho de raio x transportável Aquilla plus 300;
- Nome técnico: aparelho móvel para raio x
- Classificação de risco: III - Alto risco
- Nome da empresa/Detentor: PHILIPS MEDICAL SYSTEMS INDUSTRIA E COMERCIO LTDA
- Registro da ANVISA: 10216710238

O Anexo A traz as especificações técnicas do Equipamento.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa de campo foi realizada no período de 02/12/19 a 06/12/19 no setor de Bioengenharia do HC-UFU. O equipamento utilizado para elaboração do POP foi o aparelho de raio x móvel da marca VMI, modelo Aquilla Plus 300, cujo ano de aquisição foi 2011.

Para a confecção do POP do equipamento, além da pesquisa bibliográfica, foi feito o acompanhamento da realização de uma manutenção preventiva no setor de Bioengenharia. Assim, para uma maior clareza sobre o procedimento convencional, foi registrada a sequência de atividades em um dispositivo móvel.

Dessa maneira, foi possível acompanhar cada passo das atividades realizadas pelo técnico responsável pelos equipamentos de imagens. Além disso, o funcionário se dispôs a tirar eventuais dúvidas a respeito dos processos. Inclusive, o manual de serviço do equipamento foi disponibilizado para que informações técnicas fossem extraídas.

Portanto, tendo como fundamentação: a pesquisa bibliográfica, o manual técnico de serviço e a oportunidade de acompanhar e registrar a execução da manutenção; foi possível elaborar, em texto, a sequência de atividades a serem realizadas na preventiva anual do equipamento, sendo elas:

- Verificar as travas de segurança;
- Verificar o freio do equipamento;
- *Checklist* eletrônico;
- Calibração da miliamperagem;
- Calibração da kilovoltagem;
- Limpeza das conexões dos cabos de alta tensão;
- Limpeza externa.

2.2.1 Verificar as travas de segurança

O equipamento possui duas travas de segurança. Uma delas se localiza na base do braço do equipamento e a outra no topo. É importante verificar se essas travas estão atuando, pois uma das funcionalidades deste equipamento é ser portátil. Assim, ele é extremamente útil sendo flexível, uma vez que é muito utilizado em pacientes que sofreram algum tipo de trauma ósseo. Dessa forma, é o equipamento que deve se adaptar à posição em que o paciente se encontra, e não o oposto.

Dessa maneira, ao aproximar a ampola do Raio X na área em que se deseja realizar o exame, o equipamento deve ser capaz de se manter fixo na posição desejada. Além disso, por ser um equipamento de imagem, isso é, capaz de emitir radiação ionizante, não seria possível que o técnico em Radiologia o opere segurando

a ampola do equipamento para que ele cumpra sua função. É por esse motivo que esse profissional deve se manter a uma certa distância no momento dos disparos. Portanto, a atividade verificar as travas de segurança é fundamental para certificar o bom estado estrutural do equipamento.

Então, para verificar as travas, o técnico executa os dois movimentos que o braço do equipamento é capaz de realizar, são eles: deslocamento de translação na vertical (para cima e para baixo) e deslocamento de rotação na horizontal (giro em torno do eixo vertical que o sustenta). Então, ao executar esses movimentos, fecha-se as travas para verificar se a ampola do equipamento se manterá fixa em um determinado ponto desejado (PHILIPS, 2014).

2.2.2 Verificar o freio do equipamento

O Raio X Aquilla Plus 300 é um equipamento extremamente pesado para a categoria portátil. No Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia, e provavelmente em outros hospitais, quando possível, o equipamento é mantido em um mesmo setor para evitar deslocamentos. Entretanto, nem sempre isso é possível, pois o hospital é composto por muitos setores que utilizam um mesmo equipamento.

Assim, nesse caso, é o equipamento que deve ser deslocado até o local onde o paciente se encontra, pois em geral, os pacientes que necessitam de exames de imagens sofreram algum tipo de trauma ósseo. Dessa maneira, haverá situações em que será necessário transportar o equipamento de setor em setor e até mesmo a longas distâncias. No caso do HC-UFU, o próprio setor que realiza as manutenções no aparelho se localiza fora do hospital. Além disso, os caminhos que os equipamentos percorrem são longos e com muitas rampas.

Portanto, para garantir a segurança dos pacientes, conforme orienta a Norma ISO 13485, é notório que o freio do equipamento deve estar atuando para evitar acidentes e facilitar o transporte em trajetos inclinados. O freio é manual e se localiza na pegada de apoio do equipamento. Então, esse teste consiste em mover o equipamento e acionar o freio manual, constando que a função dessa ferramenta foi cumprida.

2.2.3 Checklist eletrônico

O equipamento é composto por um conjunto de processadores que possuem um sistema de detecção de falhas denominado *Checklist* eletrônico. Consiste em uma série de procedimentos que visam facilitar as manutenções e proteger o equipamento, facilitando a resolução de problemas e garantindo a qualidade da manutenção corretiva relativa ao sistema eletrônico de placas (PHILIPS, 2014).

Dessa maneira, é possível avaliar o funcionamento e as configurações relativas a cada placa via *software*. Portanto, essa atividade é uma sequência de verificações de parâmetros disponíveis ao acessar o *SETUP* do sistema. Assim, foi descrito, por meio de figuras, cada passo a ser realizado na verificação. Disponibilizando como referência a sigla da tela exposta pelo display e a parametrização preconizada pelo fabricante.

2.2.4 Calibração da miliamperagem

O filamento aquecido do tubo de raios x é regulado por um parâmetro denominado *SetPoint fil*. Uma vez que esse circuito é o responsável por controlar a corrente da nuvem de elétrons atirada pelo catodo, é por meio desse parâmetro que se realiza a calibração da miliamperagem (PHILIPS, 2014).

Verifica-se que com o uso contínuo, a corrente vai se desregulando em pequenos intervalos. Assim, é recomendado o ajuste do *SetPoint fil* periodicamente, pois a longo prazo, a diferença entre o valor real e o esperado pode atingir um erro significativo. Dessa forma, a calibração e o possível ajuste durante as preventivas anuais é uma opção que soluciona o impasse.

Para tal procedimento, foi usado um osciloscópio para detectar o pulso de tensão alcançado em uma das placas em específico (PCI 094), indicando o ponto que deve ser medido. Assim, para cada disparo efetuado, é possível visualizar o valor do “*SetPoint fil*” no painel de comandos; e o no osciloscópio, o respectivo pulso de tensão alcançado.

Este modelo de equipamento trabalha com 5 focos, sendo que cada um deles corresponde a um valor de corrente em mA, pertinente a uma aplicação que se adequa ao propósito. Logo, nessa atividade é verificado a coerência de 5 valores de corrente.

Para auxiliar essa etapa, foi fornecida uma tabela (Tabela 1) com a correspondência entre os valores de corrente do foco e o pulso de tensão que deve ser visualizado no osciloscópio. Se ao efetuar o disparo houver coerência entre o valor atingido e o valor esperado, o foco está calibrado. Mas se não houver coerência, o ajuste deve ser realizado, por meio de um pequeno ajuste no valor do *SetPoint fil.* (PHILIPS, 2014).

Tabela 1: correspondência de valores na calibração da miliamperagem

Calibração da miliamperagem		
Focus	Corrente (mA) dos disparos	Tensão (mV) no osciloscópio
1	200	940
2	300	1410
3	50	235
4	100	470
5	150	705

Para a segurança do técnico que realizará o procedimento, antes de iniciar esta etapa, foi solicitado o fechamento total do colimador do equipamento. O campo a ser radiado pode ser visualizado através de um campo de luz regulável. Então, ao fechar totalmente o campo luminoso, assegura-se que a radiação proveniente dos disparos não irá atingir o local em que está o equipamento, garantindo a segurança dos funcionários do setor.

2.2.5 Calibração da kilovoltagem

De maneira análoga à calibração da miliamperagem, é feita a calibração do KV. Todavia, consiste em uma única verificação, pois a kilovoltagem não se associa diretamente a cada foco e sim ao poder de penetração dos fótons produzidos pela interação da nuvem de elétrons com o anodo (WEBB, 2003)

Assim, foi solicitado a troca do ponto a ser medido pelo osciloscópio. A placa é a mesma da atividade anterior, isso é, PCI 094, porém o ponto atual é o TPKV2. Feito isso, foi descrito algumas parametrizações tanto no painel de comandos como no osciloscópio.

Portanto, através de um único disparo é verificado se a tensão de pico do ponto medido, visualizado no osciloscópio, corresponde ao valor esperado, que é 4Vdc. Se esse for o valor atingido, o KV está calibrado; caso haja divergência, um componente

da placa deve ser ajustado. O ajuste consiste na regulação manual do componente trimpot R18 até que o valor atingido seja o correto. Aproveitando a ocasião, foi orientado, nesta etapa, a utilização do disparador manual, ao invés do painel de comandos, para que o disparador fosse testado.

Tabela 2: correspondência de valores na calibração da kilovoltagem

Calibração da kilovoltagem			
Parâmetros a serem selecionados			Tensão (V) visualizada no osciloscópio
200mA	30mAs	80Kv	4Vdc

2.2.6 Verificar fixação do colimador

O colimador está preso na ampola de raios x por 4 parafusos. Já foi relatado no HC-UFU acidentes envolvendo essa peça, devido ao gradual desparafusamento espontâneo dos parafusos. Portanto, para evitar com que o acidente se repita, foi acrescentado essa atividade para assegurar a fixação da peça. A atividade consiste em retirar a peça, apertar alguns parafusos interiores e logo após, prender e parafusar a peça novamente, certificando-se que ela se manterá fixa (PHILIPS, 2014).

2.2.7 Limpeza das conexões dos cabos de alta tensão

É necessário manter as conexões dos cabos de alta tensão em bom estado, para isso, as conexões são lubrificadas com gelatina de petróleo. As funções desse composto é proteger e lubrificar os contatos elétricos; melhorar o fluxo de corrente, evitando arcos voltaico, por se tratar de um conector para cabo de alta tensão; e aumentar o tempo de vida útil do conjunto cabos e conexões. Assim, foi solicitado nesta atividade, com o equipamento desligado, a retirada dos cabos conectados na ampola e a limpeza da pasta residual. Para evitar acidentes elétricos, é extremamente importante verificar a coerência dos polos. Então, foi orientada a realização da retirada, limpeza, lubrificação e conexão de um cabo por vez, além de verificar a sinalização disponível na vista inferior da ampola (PHILIPS, 2014).

2.2.8 Limpeza externa

Para finalizar, com o equipamento desligado, é feito a limpeza das partes externas do equipamento. A limpeza deve ser realizada com o uso de um pano úmido com uma solução que não contenha álcool ou qualquer outro solvente, a fim de que as superfícies e isolações dos cabos possam ser preservados (PHILIPS, 2014; COREN, 2018).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O HC-UFU possui 11 equipamentos de raios x do modelo Aquilla Plus 300. Sendo a periodicidade das manutenções preventivas anuais, o POP confeccionado servirá como um guia didático para orientar técnicos e estagiários do setor na realização do serviço de forma qualitativa e padronizada.

Atualmente, o hospital passa por uma mudança administrativa, a qual acarretou a substituição de muitos funcionários. Dessa forma, este documento servirá, também, como um material de apoio para que novos profissionais da Bioengenharia aprendam as funcionalidades básicas do equipamento, desde seu princípio de funcionamento até a compreensão da relevância das atividades propostas pelo POP.

O principal problema que surgiu no desenvolvimento do protocolo foi encontrar uma forma de descrever o procedimento de maneira clara, objetiva e sem deixar dúvidas por parte de cada usuário. Para isso, a participação de cada voluntário que se dispôs a ler a prévia do POP foi fundamental. Foram relatadas queixas de alguns pontos específicos do documento, como a maneira a qual foi escrito o modo de navegação pelo painel de comandos. Assim, foi sugerido a substituição de algumas instruções.

Além disso, a disponibilização do equipamento para a realização da pesquisa foi difícil, pois todos os 11 equipamentos do hospital são usados diariamente. Entretanto, após algumas semanas foi encontrado um equipamento disponível.

O presente documento é relativo à primeira versão do POP, o qual foi testado por dois profissionais do setor. Sua releitura por outros profissionais poderá gerar possíveis edições no atual texto e até mesmo novas sugestões a serem implementadas. Portanto, eventuais versões poderão surgir futuramente, com o intuito de aprimorar este trabalho (GODÓI, 2016).

No APÊNDICE A encontra-se o POP confeccionado no formato usado na Bioengenharia.

3 CONCLUSÃO

Para a implementação do POP de manutenção preventiva do equipamento de raio X móvel Aquilla Plus 300, foi realizada uma série de boas práticas em Engenharia Clínica. A começar pela busca por informações para entender o princípio de funcionamento do equipamento, o ponto de partida do projeto.

Além disso, a interação com os profissionais da Bioengenharia e com o equipamento foram essenciais para colocar a pesquisa bibliográfica em prática. Assim, o desenvolvimento do trabalho se tornou prático e aplicável, sempre direcionado com o principal objetivo, que era a entrega do POP ao setor. Assim, foi redigido o documento na sequência textual injuntiva, orientando os procedimentos passo a passo a serem executados.

Ademais, por meio deste estudo, foi possível compreender a importância da preventiva na execução dos serviços de manutenções hospitalares, bem como a necessidade de se estabelecer um Procedimento Operacional Padrão para assegurar a qualidade e padronização do serviço. Portanto, conclui-se que este trabalho contribuirá com a execução dos serviços que a Bioengenharia presta ao HC-UFU.

4 REFERÊNCIAS

Alves NMV, Godoi CM, Rezende MF, Moura WM, Santi RO, Milagre ST. Procedimento Operacional Padrão para Manutenção Preventiva de Berço Aquecido Fanem, **Anais IX Simpósio em Engenharia Biomédica**. 2016; p.207-209

BRONZINO, J. D. **The biomedical engineering handbook**. 2ª ed.; Boca Raton: CRC Press, 2006.

BORGES, I. P. C. **Análise de Indicadores de Manutenção dos Ventiladores Pulmonares do HC-UFU**. 2014. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

CALIL, S. J.; GOMIDE, E.T. (Org.) **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: Capacitação a distância**. Brasília, 2002. 379 p.

Castro BNR de, Alves CM, Viginéski IWS, Mazotti NL, Milagre ST, Godoi CM de. Procedimento Operacional Padrão para Manutenção Preventiva de Estações de Anestesia. **Anais VIII Simpósio em Engenharia Biomédica**. 2015; p.128-132

CLARK, J. W. et all. **Medical instrumentation: application and design**. Hoboken: J. Wiley, 2010.

COREN. CONSELHO REGIONAL DE ENFERMAGEM DA BAHIA. **Parecer Coren – BA nº 029/2013**. Disponível em: <http://ba.corens.portalcofen.gov.br/parecer-coren-ba-0292013_8133.html>. Acesso em: 07 set. 2020.

COUTINHO, Ellyesanya Silva. **Desenvolvimento de um procedimento operacional padrão para manutenção preventiva para incubadoras Fanem Vision 2286 do Hospital de Clínicas de Uberlândia da Universidade Federal de Uberlândia**. 2019. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

SILVA, Anaíra Augusta de Araújo. **Procedimento Operacional Padrão – POP: Uma contribuição para manutenção preventiva dos cardioversores do HUOL/UFRN**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 67 p., 2017.

DUARTE, R. L. **Procedimento Operacional Padrão: a Importância de se Padronizar Tarefas nas BPLC**. Curso de BPLC. Belém, 2005.

ENDERLE, J. D.; BLANCHARD, S. M. **Introduction to biomedical engineering**. 2ª ed., Amsterdam; Boston: Elsevier: Academic Press, 2005.

PHILIPS. **Aparelho de Raios-X transportável ÁQUILLA PLUS 300**. Minas Gerais, 2014. 69p.

GODOI, C. M. **Análise da Disponibilidade de Equipamentos Médico-Assistenciais após Reestruturação da Programação de Manutenção Preventiva em um Hospital**

Público de Grande Porte e Alta Complexidade. 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

GORDON, G. J. Hospital technology management: the Tao of clinical engineering. In: **Journal of clinical engineering**, Filadélfia, v. 15, n. 2, p. 111-117, 1990.

HC-UFU. Hospital de Clínicas de Uberlândia. **Institucional.** Disponível em: <<http://www.hc.ufu.br/pagina/institucional>>. Acesso em: 07 set. 2020.

LUCATELLI, M. V. **Estudo de procedimentos de manutenção preventiva de equipamentos eletromédicos.** 1998. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada.** 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

OLIVEIRA, H. C. **Avaliação dos custos diretos de materiais utilizados na manutenção dos equipamentos médico-assistenciais do Hospital de Clínicas de Uberlândia.** 2017. 43 f. Monografia (Graduação em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

SONKA, M. **Handbook of medical imaging: processing and analysis.** San Diego: Academic Press, 2000.

VILHENA, C. L. et al. **Desenvolvimento de Procedimento Operacional Padrão de Manutenção Preventiva de Esfigmomanômetros Aneróides.** In: Anais do V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia e X Simpósio de Engenharia Biomédica. Uberlândia: Center Convention, 2018. Disponível em: <<http://www.sbeb.org.br/site/anais-do-cbeb/>>.

WEBB, A. R. **Introduction to biomedical imaging.** New York: John Wiley & Sons: Wiley Interscience, 2003.

ANEXO A - Especificações Técnicas do Equipamento (PHILIPS, 2014)

Especificações do Gerador e do Pannel de Comandos
– Gerador de raios X de alta frequência;
– Armazenamento de energia através de banco capacitivo;
– Circuitos microprocessados que monitoram, controlam e supervisionam todas as operações, proporcionando assim facilidade de uso e segurança, esta unidade de processamento digital é composta por dois módulos: um que faz a interface com o usuário (módulo mestre) e outro que executa as ações de operação e controle (modulo escravo). A comunicação entre os módulos é feita através de um canal serial;
– Pannel de comandos com indicações através de display de cristal líquido;
– Seleção e ajuste dos parâmetros radiológicos e funções por meio de teclas tipo toque simples;
– Sistema de técnicas pré-programáveis (programa anatômico de órgãos por região;
– Ajuste de kV de 30 a 125 com passo de 1kV;
– Seleção de mA com focos pré-programáveis até 500mA;
– Indicação de mAs e tempo de disparo;
– Sistema de segurança que não permite exposição com duração superior a 5 segundos;
– Sinalização luminosa e acústica de disparo de raios X;
– Bloqueio para seleção de exposições acima da carga máxima do tubo de raios X;
– Sistema de anodo giratório com partida rápida e freio ao final da exposição;
– Dupla proteção térmica do tubo de raios X interligada ao sistema de disparos;
– Programa de detecção de falhas online com indicação no display do pannel Proteção por falha de sobre ou subcorrente do circuito de acionamento do estator do anodo giratório;
– Proteção por falha de sobre ou subcorrente do circuito de filamento do tubo de raios X;
– Proteção contra sobrecarga no tubo de raios X;
– Cabo disparador em espiral com comprimento máximo de 2,5m;
– Controle automático de exposições opcional;

Especificações do Tubo de Raios X	
Modelo:	30-50/150
Marca:	VMI
Tipo:	Rotatório
Composição do Anodo:	Liga de tungstênio + molibdênio
Diâmetro:	90mm
Angulo do alvo:	17,5°
Velocidade de rotação do anodo:	2900rpm @60HZ
Ponto focal nominal para foco fino:	1.2 (75kV. 150mA) - IEC336
Ponto focal nominal para foco grosso:	2,0 (75 kV 300mA) - IEC336
Alimentação requerida do gerador:	Faixa de tensão: 30 a 125kV Potência máxima 30kW
Alimentação do circuito de filamento:	2,0A no modo stand-by 5,5A máximo durante emissão de raios X
Filtração inerente:	0.5mm Al @ 70KV - IEC 522
Potência nominal do anodo para foco fino e exposição de 0,15:	30kW @ 56kJ - IEC 613
Potência nominal do anodo para foco grosso e exposição de 0,1s:	50KW @ 56kJ-IEC 613
Capacidade de acumulação máxima de calor no anodo:	140KJ (190KHU) - IEC 613
Tensão máxima entre anodo e catodo:	150KV - IEC 613
Tensão máxima entre anodo e terra:	75KV - IEC 613

Especificações da alimentação	
Rede de alimentação:	Monofásica 220VFN (rms) + terra ou Bifásica 220VFF (rms) + terra
Flutuação permitida da tensão de rede:	±10%
Tipo de corrente:	Alternada senoidal
Frequência:	50-60HZ
Corrente máxima por fase em operação contínua:	11Arms ±10% (durante a carga do banco capacitivo) 0,9Arms ±10% (após carga do banco capacitivo)
Corrente máxima por fase em operação instantânea:	11Arms +10%
Resistência máxima de aterramento:	Menor ou igual a 7 ohms
Resistência aparente máxima da rede elétrica:	0,4 ohms
Fusível de proteção de sobrecorrente:	20A (não acessível ao usuário)
Comprimento do cabo de alimentação:	8m
Conexão da alimentação:	Plugue tomada redondo 2P+T/15A/250V

Especificações da base
Equipada com porta chassis;
Braço articulado e giratório que permite projeções ortogonais e oblíquas para a realização de exames Braço contrabalanceado, permitindo maior precisão e liberdade dos movimentos;
Coluna giratória de +45 graus;
Rotação do Tubo de raios X com marcação de inclinação através de Goniômetro (angulador de esfera);
Inclinação do Tubo de raios X com marcação de inclinação através de Goniômetro (angulador de esfera);
Sistema de freio para coluna e suporte do Tubo de raios X;
Freio mecânico para rodas;
Sistema de deslocamento sobre degraus;

Especificações do cabo de alta tensão	
Isolação máxima:	90kV
Comprimento:	3,0m
Conexão:	Terminal Federal Standard com canopla rosqueável retirada apenas com uso de ferramenta

Classificação do equipamento
Aquilla Plus foi projetado de acordo com a norma NBR IEC 60601-1 e particulares aplicáveis, sendo assim, ele foi classificado como Equipamento eletromédico móvel energizado por uma fonte de alimentação externa;
Classe I;
Tipo B;
Equipamento comum (equipamento fechado sem proteção contra penetração de água) Equipamento não adequado ao uso na presença de uma mistura anestésica inflamável com ar oxigênio ou óxido nitroso;
Modo de operação contínua com carga intermitente;
Equipamento sem necessidade de esterilização de parte em contato com paciente;
Equipamento com necessidade de desinfecção de parte em contato com paciente;
Não se aplica a seção Seis da Norma Geral NBR IEC60601_1 IGNIÇÃO DE MISTURAS ANESTÉSICA em nenhum de seus itens. Não há necessidade de fornecimento de nenhum tipo de substância para resfriamento do equipamento;

APÊNDICE A – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO

 Hospital de Clínicas De Uberlândia	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO	
Título: Protocolo de Manutenção Preventiva Raio X VMI AQUILLA PLUS 300	Elaborado por: Henrique Ferreira Freitas	Data: 09/09/2020
	Versão: 1.0	Data: 09/09/2020
	Periodicidade: 365 dias	

SUMÁRIO

1. OBJETIVO	39
2. MATERIAL NECESSÁRIO.....	39
3. ORIENTAÇÕES INICIAIS.....	39
4. Sequência de atividades.....	39
4.1 Verificar as travas de segurança	39
4.2 Verificar o freio do equipamento.....	40
4.3 <i>Checklist</i> eletrônico.....	41
4.4 Calibração da miliamperagem.....	47
4.5 Calibração da Kilovoltagem.....	54
4.6 Verificar fixação do colimador.....	56
4.7 Limpeza das conexões dos cabos de alta tensão.....	57
4.8 Limpeza das partes externas.....	59

1. OBJETIVO

Este documento visa orientar o profissional da Bioengenharia na manutenção preventiva anual do aparelho Raio X VMI AQUILLA PLUS 300, executando as atividades descritas abaixo.

2. MATERIAL NECESSÁRIO

- Chave Philips;
- Chave allen;
- Osciloscópio;
- Gelatina de petróleo (Vaselina);
- Tecido para limpeza;

3. ORIENTAÇÕES INICIAIS

Antes de iniciar a manutenção preventiva, verifique se há disponível todo o material necessário. Logo em seguida, siga as instruções descritas em cada atividade. Caso todas as atividades estejam em conformidade com os requisitos esperados, a preventiva foi bem sucedida e o equipamento está apto para uso. Caso haja alguma divergência, deve ser registrado o ponto em específico que apresentou falha e o equipamento deve ser enviado para manutenção corretiva.

4. SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES

4.1 –Verificar as travas de segurança

A começar, deve-se verificar se as travas de segurança do equipamento estão atuando.



Figura 1: trava de segurança na base do braço

Essa trava impede que o braço do equipamento gire em torno do próprio eixo. Execute movimentos de rotação e verifique se ao travá-la o braço do equipamento se mantém imóvel.



Figura 2: trava no topo do braço do equipamento

Essa trava impede que o braço do equipamento se desloque para cima ou para baixo. Execute movimentos na vertical e verifique se ao travá-la o equipamento permanece imóvel.

4.2 - Verificar o freio do equipamento



Figura 3: acionamento do freio manual

Ao apertar o freio manual, as rodas dos equipamentos devem travar, impedindo que ele se desloque para frente ou para trás. Faça o teste para constatar que o equipamento está freando através do freio manual indicado na Figura 3.

4.3 - Checklist Eletrônico

Ligue o equipamento na tomada, na tensão $V_{rms} = 220V_{ac}$ e pressione a tecla POSTO até que o display entre no modo *SETUP*.

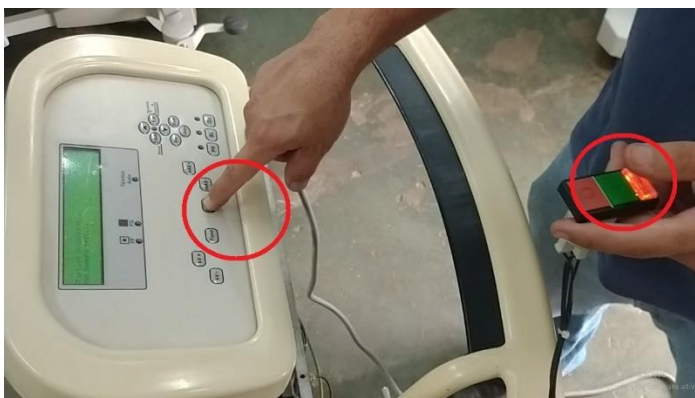


Figura 4: ligando o equipamento de modo a entrar no *SETUP*

A navegação pelo *SETUP* se dá por meio dos botões indicados a seguir. Conforme a figura, há botões para subir, descer, ir para a direita e esquerda.

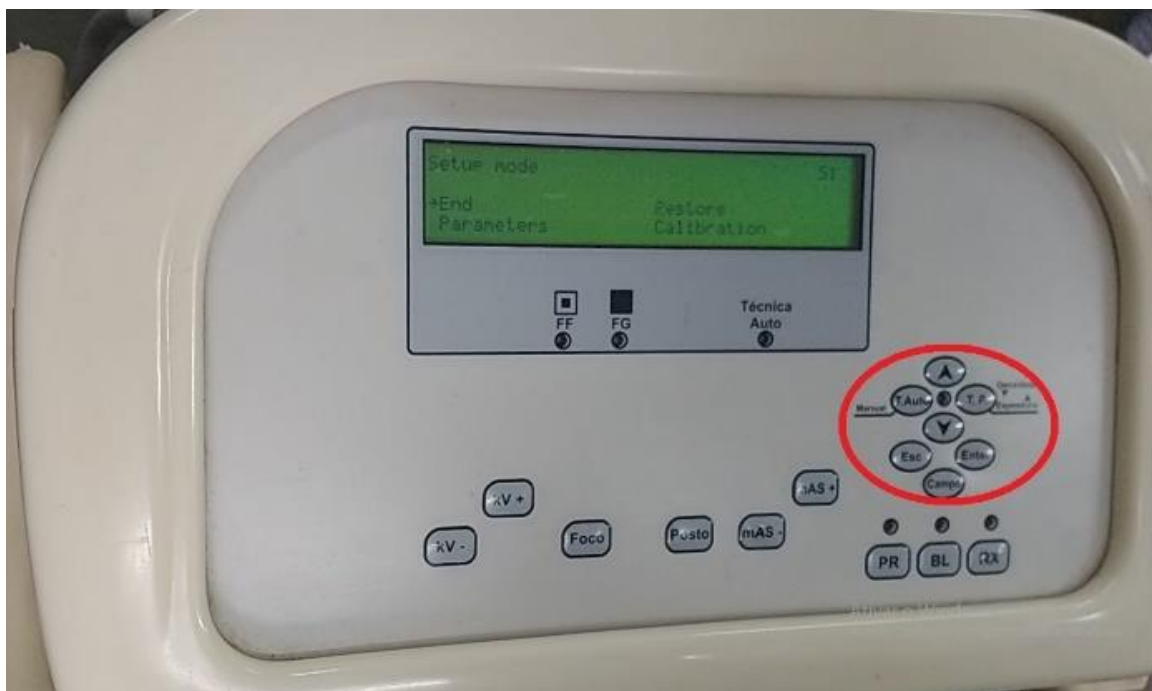


Figura 5: equipamento ligado no modo *SETUP*

A partir de agora, uma série de parâmetros serão verificados em várias telas identificadas por siglas. Exemplo: tela S11. Os valores dos parâmetros indicados na tela do equipamento devem estar de acordo com as Figuras 6 a 23. Caso haja divergência, o ajuste poderá ser feito por meio das teclas ESC (que diminui) e Enter (que aumenta).

Entre na opção *Parameters* e verifique as configurações indicadas no conjunto de telas mostrados nas Figuras 6 a 23.

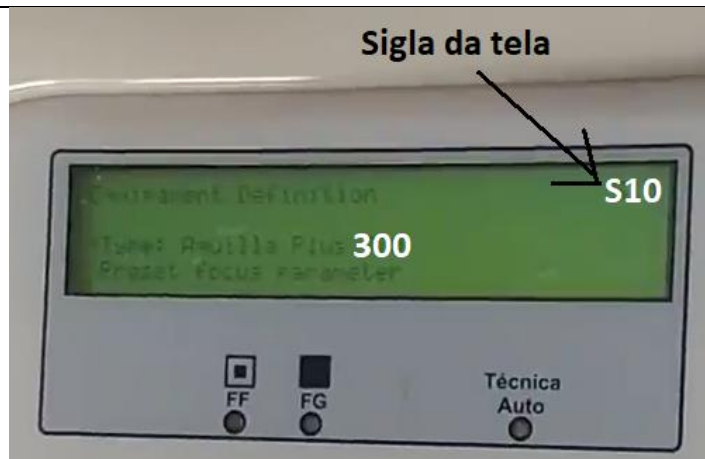


Figura 6: tela S10

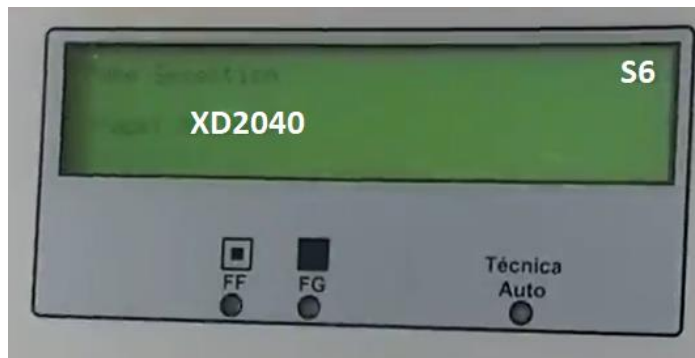


Figura 7: tela S6



Figura 8: tela S8



Figura 9: tela S7

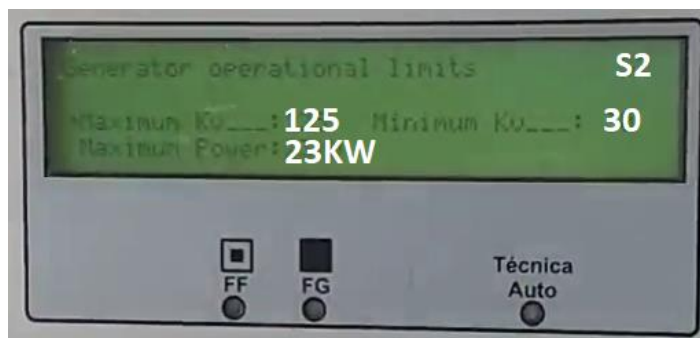


Figura 10: tela S2



Figura 11: tela S3



Figura 12: tela S4; Focus 1; LF (*Large focus*)

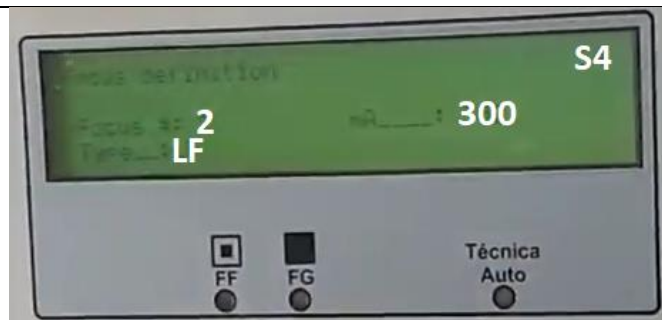


Figura 13: tela S4; Focus 2; LF

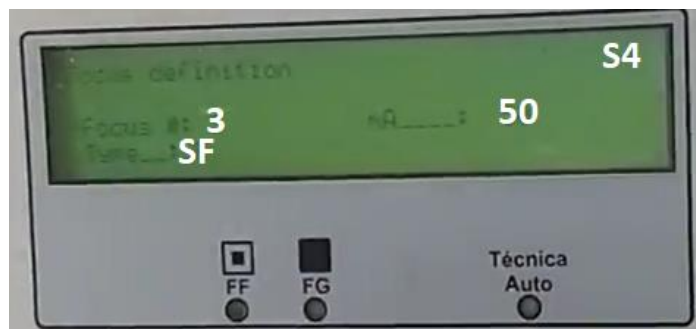


Figura 14: tela S4; Focus 3; SF (*Small Focus*)



Figura 15: tela S4; Focus 4; SF



Figura 16: tela S4; Focus 5; SF

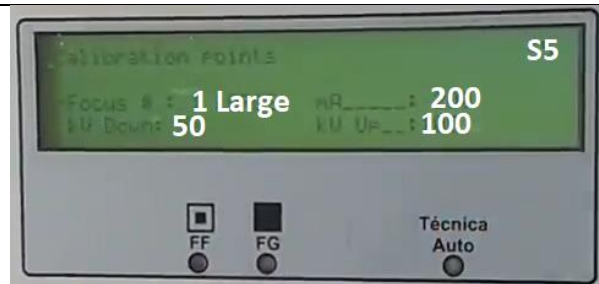


Figura 17: tela S5; Focus 1; LF

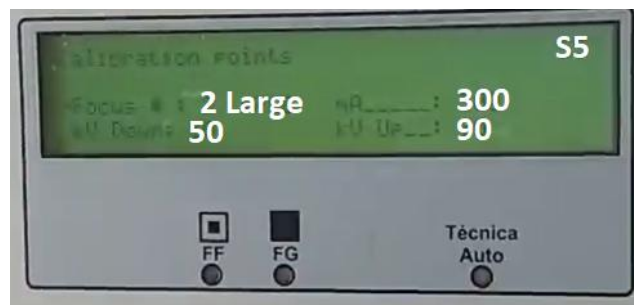


Figura 18: tela S5; Focus 2; LF



Figura 19: tela S5; Focus 3; SF

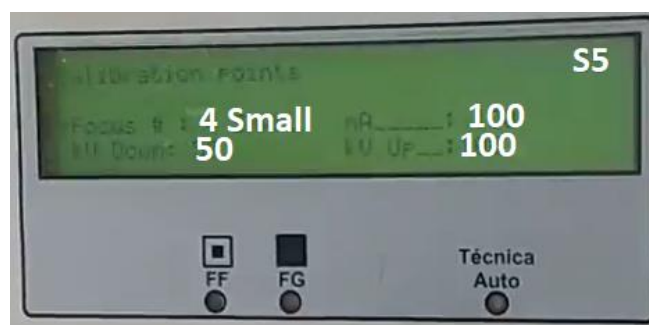


Figura 20: tela S5; Focus 4; SF

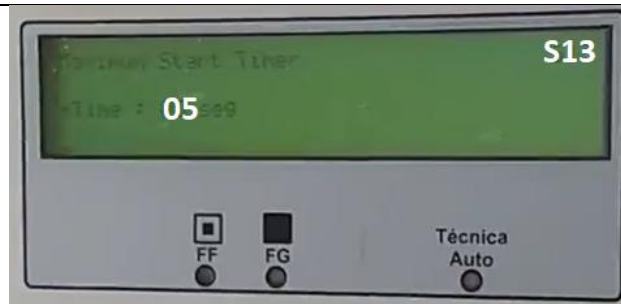


Figura 21: tela S13

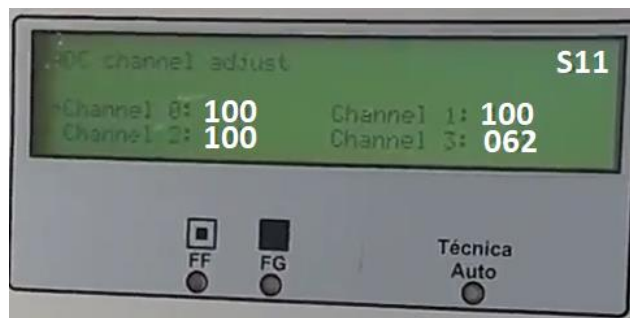


Figura 22: tela S11

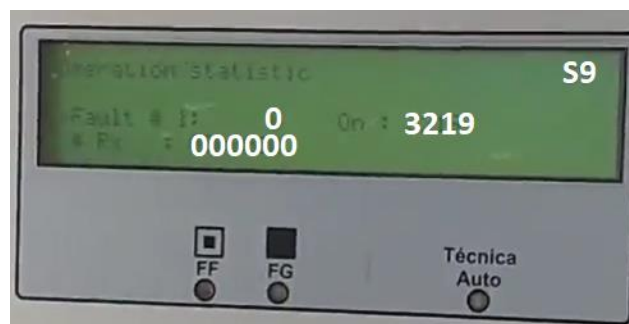


Figura 23: tela S9

Ao final de todas essas configurações, pressione a tecla “Seta para cima” e aparecerá a pergunta:

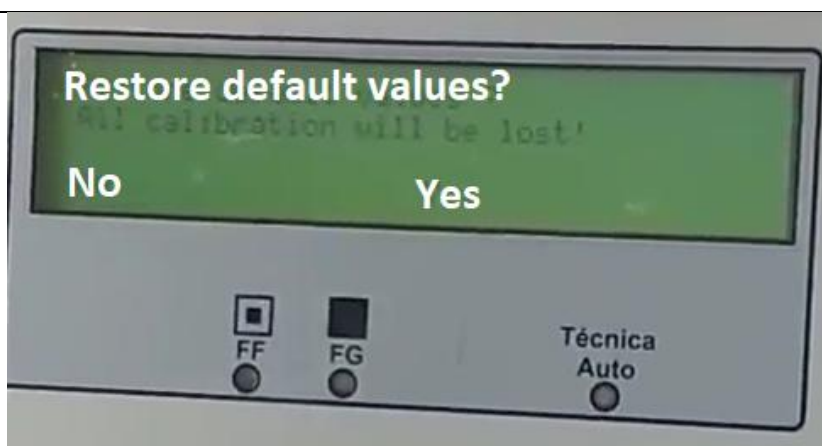


Figura 24: salvando as configurações

Selecione No para que possíveis ajustes configurados possam ser salvos. Logo após, volte na tela S1 e selecione a opção End.



Figura 25: finalização do Checklist Eletrônico

4.4 - Calibração da miliamperagem (MA)

Desligue o equipamento na botoeira vermelha e retire os parafusos indicados na Figura 26, para que seja possível remover as superfícies laterais do equipamento. As imagens da Figura 26 mostram alguns dos parafusos, lembrando que o equipamento é verticalmente simétrico, ou seja, o que é mostrado para um dos lados (direito ou esquerdo) deve ser feito no outro.





Figura 26: conjunto de imagens mostrando os parafusos que mantêm a superfície lateral do equipamento presa

Retire as superfícies laterais indicadas nas Figuras 27 e 28:



Figura 27: retirada da superfície lateral esquerda



Figura 28: retirada da superfície frontal

Atenção: deve-se ter um cuidado especial na remoção da superfície frontal, pois o fio de alimentação atravessa a peça. Assim, a fiação deve ser desenroscada antes da remoção, conforme a Figura 29:



Figura 29: fiação da alimentação atravessando a superfície frontal

Selecione no display o modo *Current Calibration*, cujo a sigla da tela é C4

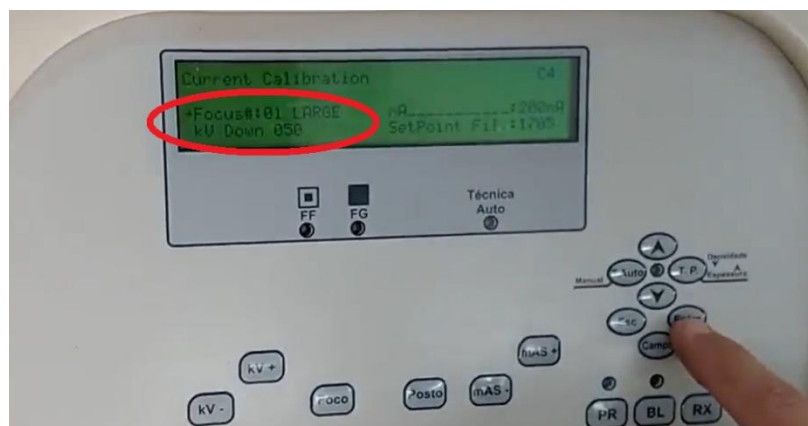


Figura 30: tela C4 - Calibração da corrente

A opção Focus#01 corresponde ao valor do primeiro disparo a ser realizado. Para seguir com os próximos basta apertar a tecla Enter.

Ligue o osciloscópio e para melhor visualizá-lo, configure sua amplitude em 500mV/divisão e seu período em 10ms, assim como na Figura 31:

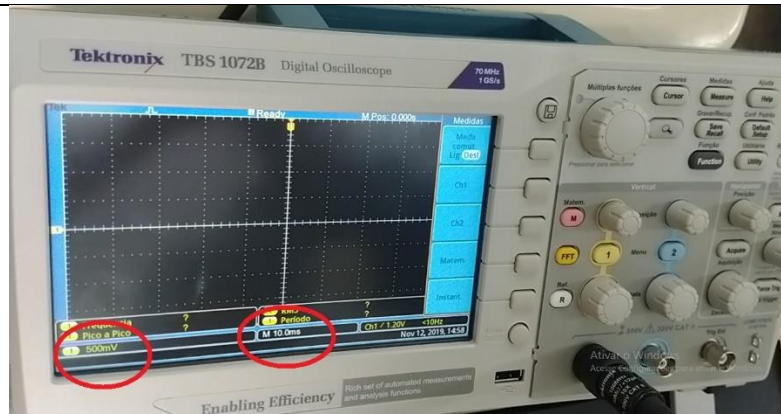


Figura 31: configuração ideal para visualizar os picos de tensão nos disparos

Identifique a placa PCI 094 (Placa de controle de alta tensão). Coloque a ponteira do osciloscópio no ponto de medição sinalizado por MA. O fio terra da ponteira deve ser colocado no ponto TPGMD.



Figura 32: pontos da placa que levam a ponteira do osciloscópio

Ligue o equipamento na botoeira verde.

Atenção: a partir de agora, serão feitos alguns disparos no equipamento. Para tal, o colimador deve ser fechado para a proteção do técnico. Ligue a lâmpada do colimador no botão indicado na Figura 33:



Figura 33: botão que liga a lâmpada do colimador

Através dos knobs laterais, mostrados na Figura 33, feche o colimador até que a luz na parte inferior não seja mais vista.

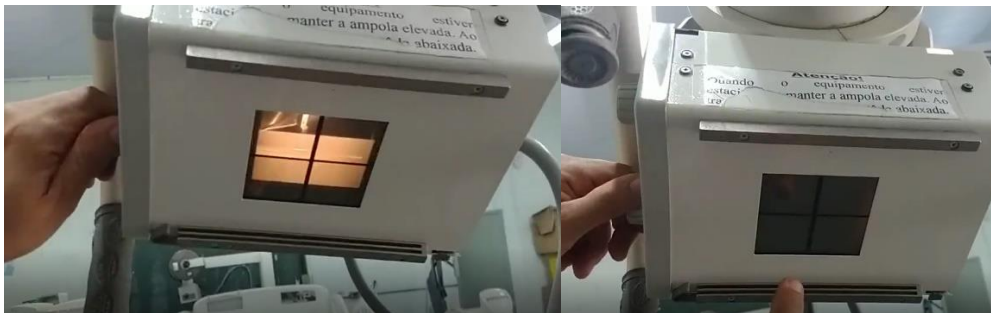


Figura 34: fechamento do colimador

Os disparos serão vistos como pulsos instantâneos no osciloscópio. Para que seja possível visualizá-los, antes é preciso se atentar a dois passos:

1º: A função SINGLE deve ser ativada. Aperte o botão indicado na Figura 35.

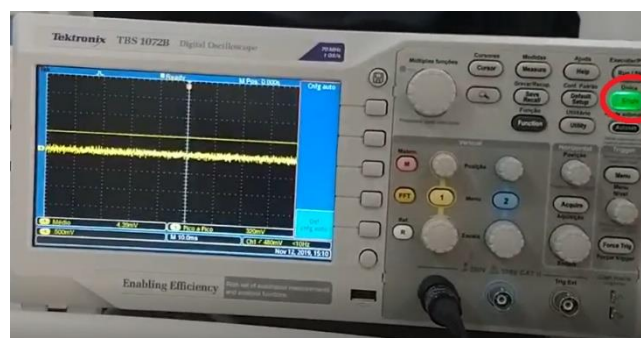


Figura 35: ativação da função SINGLE no osciloscópio

2º: Em cada disparo efetuado, o cursor TRIGGLE deve estar abaixo da amplitude em mV esperada em cada disparo.

Cada disparo corresponde ao valor em mA que o equipamento trabalha,

devendo este valor equivaler a uma amplitude lida no osciloscópio em mV, de acordo com a Tabela 1:

Calibração da miliamperagem		
<i>Focus</i>	Corrente (mA) dos disparos	Tensão (mV) no osciloscópio
1	200	940
2	300	1410
3	50	235
4	100	470
5	150	705

Tabela 1: correspondência de valores na calibração da miliamperagem

Caso o valor lido seja coerente com o da Tabela 1, o equipamento está calibrado para o *Focus* correspondente. Mas caso haja divergência, o valor *SetPoint fil*, disponível no equipamento, deve ser ajustado até que novos disparos alcancem o valor esperado.

OBS: Como regular o valor do *SetPoint fil*?

O valor do *SetPoint fil*, caso seja necessário ajustar, é regulado nas teclas ENTER (aumenta) e ESC (diminui). Aumentando-se o valor do *SetPoint fil*, consequentemente irá aumentar o valor da tensão medida no osciloscópio e vice-versa. Assim, a depender da divergência (diferença entre o valor medido e o valor esperado), deverá ser realizado um reajuste fino para mais ou para menos.

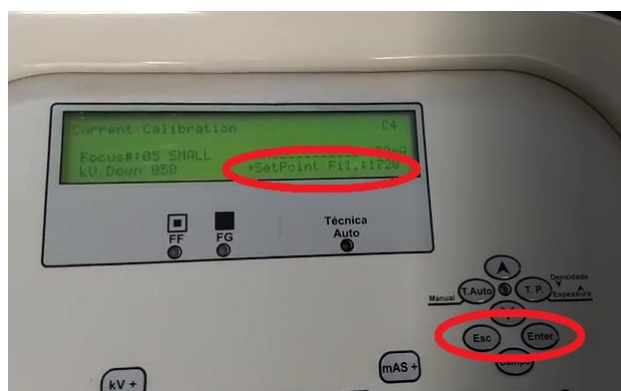


Figura 36: regulação do *SetPoint fil* na calibração da miliamperagem

OBS: Como efetuar os disparos?

Aperte a tecla PR e aguarde o Led vermelho apagar e acender o verde, quando

isso acontecer basta apertar a tecla RX para efetuar os disparos.

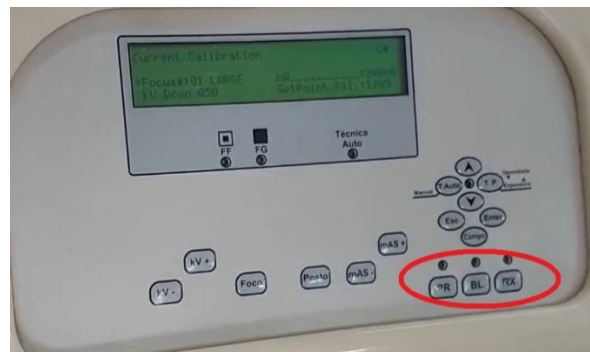


Figura 37: botões para efetuar os disparos

Exemplo: De acordo com a Tabela 1, ao selecionar a corrente 200mA e efetuar o disparo, o pico de tensão correspondente no osciloscópio deve ser 940mV, assim como na Figura 38:

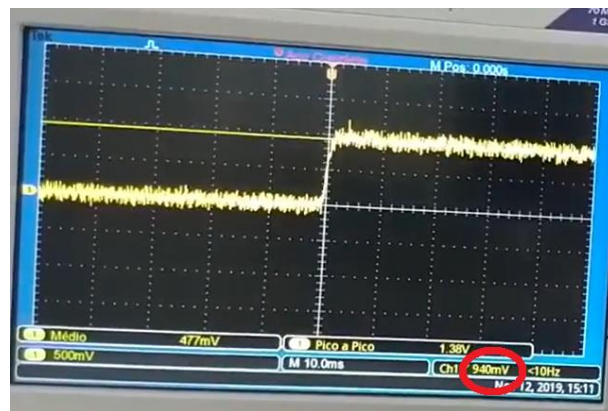


Figura 38: medida da tensão alcançada para o disparo do *Focus 1*

Antes de efetuar um novo disparo, clique na tecla Run/Stop para que novos picos de tensão possam ser lidos:

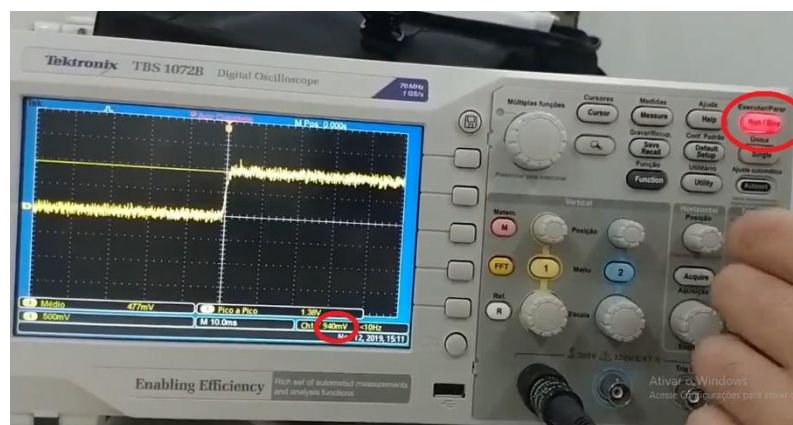


Figura 39: tela congelada no pico de tensão atingido devido o botão RUN/Stop

Dessa maneira, efetue os disparos para todos os valores de corrente indicados na Tabela 1, verificando a medida do pico de tensão medido no osciloscópio. Caso haja divergência, faça um ajuste fino no *SetPoint fil* até que a tensão no osciloscópio esteja coerente com os valores da Tabela 1.

4.5 - Calibração da kilovoltagem

Desligue o equipamento na botoeira vermelha. O ponto da placa a qual está a ponteira do osciloscópio deve ser trocado para o ponto TPKV2, mantendo-se a referência TPGMD.

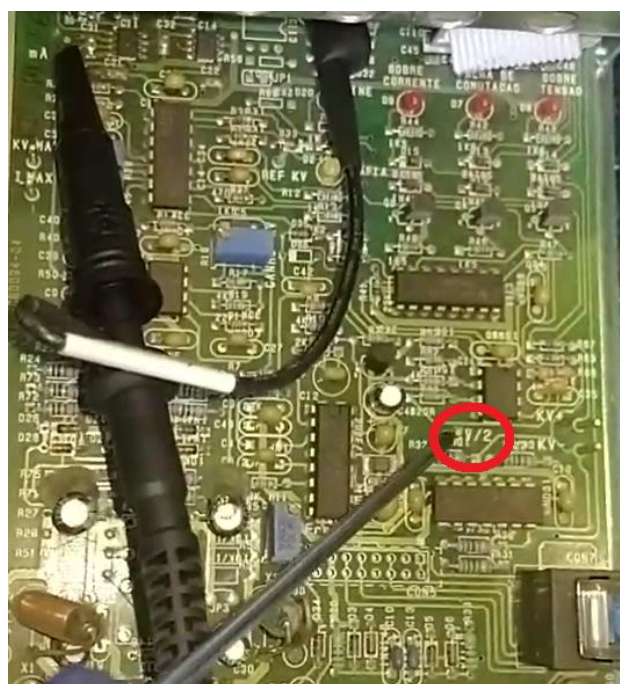


Figura 40: ponto TPKV2 indicado por um círculo; calibração KV

Ligue o equipamento na botoeira verde. Por meio das teclas circuladas em preto, mostrados na Figura 41, e faça os ajustes dos parâmetros KV=80, mA=200 e mAs =30.

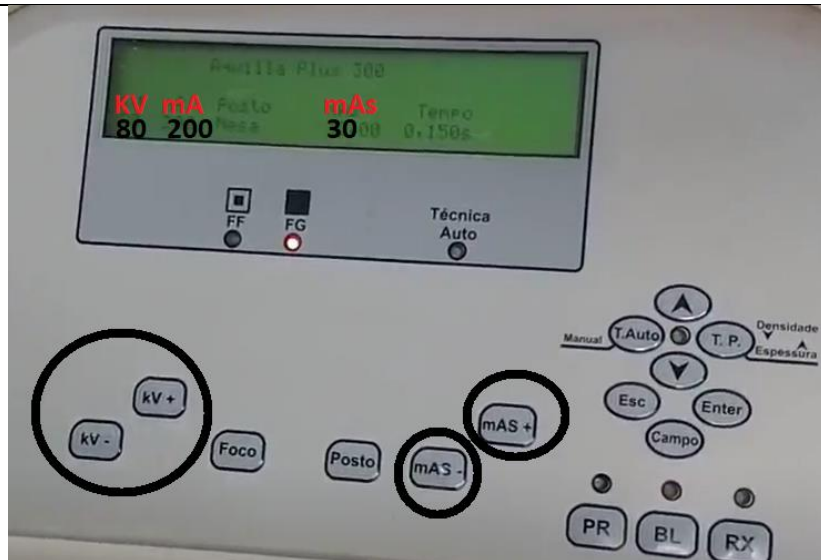


Figura 41: tela inicial para calibração KV e teclas para regulagem

Ajuste as configurações do osciloscópio em Amplitude = 1V/divisão e Período = 10ms.



Figura 42: configuração ideal do osciloscópio para calibração do KV

Feito isso, efetue um disparo, desta vez com o disparador manual, e verifique se a tensão alcançada no osciloscópio corresponde ao valor de 4V, conforme a Tabela 2:

Calibração da kilovoltagem			
Parâmetros a serem selecionados			Tensão visualizada no osciloscópio
200mA	30mAs	80Kv	4V

Tabela 2: correspondência de valores na calibração da kilovoltagem



Figura 43: medida da tensão alcançada na calibração da kilovoltagem

Se o valor visualizado no osciloscópio não corresponde ao valor esperado, o componente trimpot R18, na placa, deve ser ajustado até que o valor correto seja alcançado. Além disso, se o disparo não for efetuado, realize-o através do painel de comandos. Feito isso, é um indicativo que o disparador manual deve ser enviado para manutenção corretiva. Desligue o equipamento da tomada e remova a ponteira do osciloscópio

4.6 - Verificar fixação do colimador

Desparafuse os 4 parafusos que fixam o colimador com uma chave allen



Figura 44: parafusos laterais que prendem o colimador

Antes de retirar o último parafuso, deve-se segurar o colimador para que a peça não caia.



Figura 45: retirando o colimador com segurança

Com uma chave allen, reaperte os 4 parafusos mostrados na Figura 46:



Figura 46: parafusos a serem apertados na verificação do colimador

De modo reverso ao procedimento descrito anteriormente, encaixe e parafuse o colimador novamente, certificando-se que ele permanecerá firme.

4.7 - Limpeza das conexões dos cabos de alta tensão

Retire os cabos de alta tensão do anodo e do catodo, para isso, com uma chave allen, desparafuse e depois gire no sentido anti-horário a rosca que prende o cabo.



Figura 47: retirando os cabos de alta tensão do equipamento

O eletrodo retirado é lubrificado com gelatina de petróleo (vaselina), deve-se, com um pano, retirar a lubrificação velha e recobrir o cabo com vaselina nova

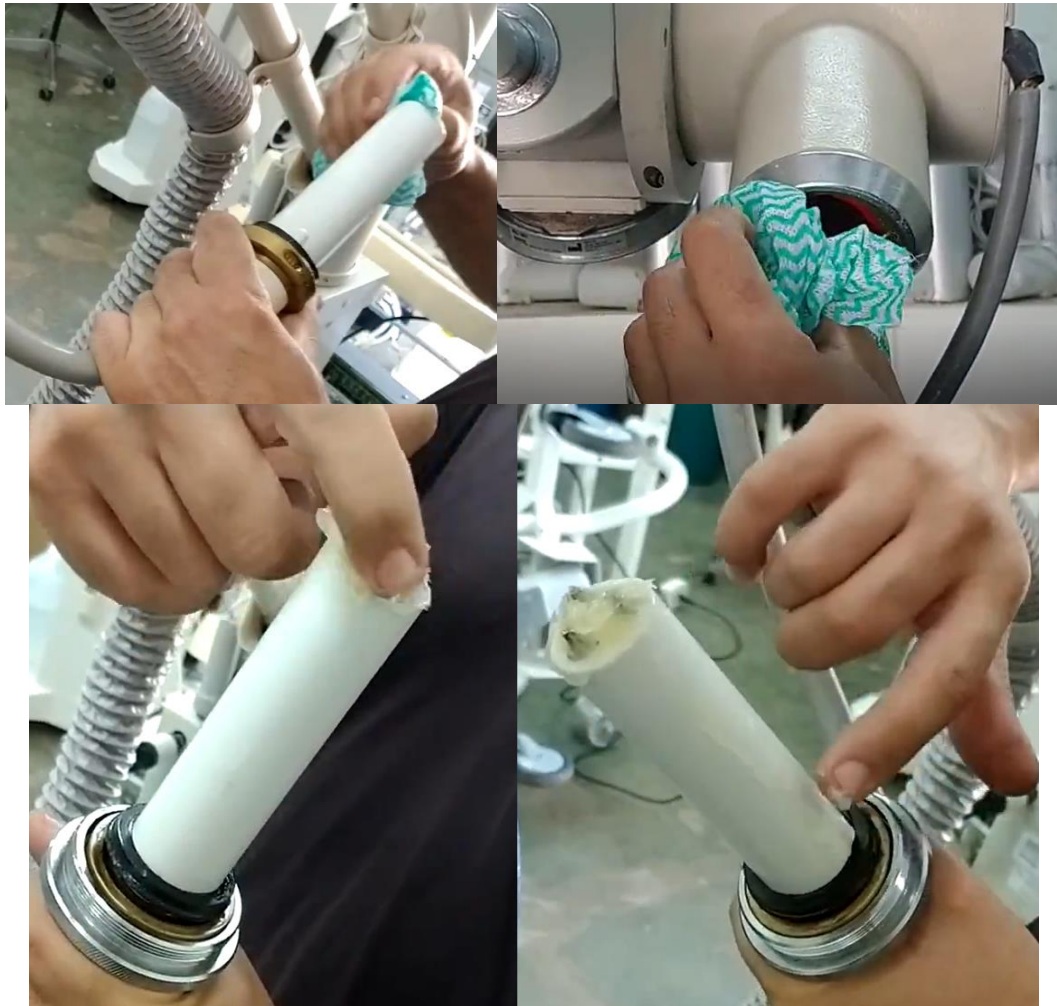


Figura 48: limpeza dos eletrodos antes de encaixá-los

Coloque o cabo novamente em seu respectivo encaixe, enrosque a rosca e aperte o parafuso que prende o cabo



Figura 49: encaixando os eletrodos em sua posição

Ao finalizar, repita esse mesmo procedimento no outro cabo. Mas **ATENÇÃO**, em hipótese alguma os cabos podem ser trocados, pois se isso acontecer, o catodo e o anodo do equipamento estarão invertidos, podendo ocorrer acidentes elétricos. Além disso, a coerência de sinais dos polos pode ser visualizada na parte inferior da ampola, assim como indica a Figura 50:

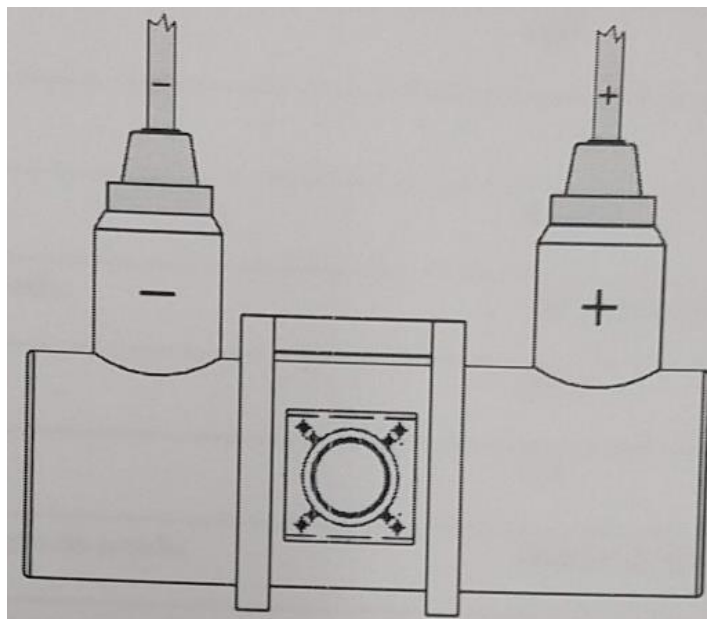


Figura 50: vista inferior da ampola de raios x, mostrando a coerência de sinais entre os cabos de alta tensão e seus respectivos polos.

4.8 Limpeza externa

Com o equipamento desligado, limpe suas superfícies e partes externas com um tecido úmido, mas não utilize álcool ou qualquer solução que contenha solventes.

Por fim, coloque e preencha a etiqueta de manutenção preventiva no equipamento. A Figura 51 mostra um modelo de etiqueta.



Hospital de Clínicas - UFU
Bioengenharia
Eletrônica

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Patrimônio: _____

Código: _____

Data de Manutenção: ____/____/____

Próxima Manutenção: ____/____/____

Técnico: _____

Figura 51: etiqueta de manutenção preventiva do equipamento.