

Avaliação do desempenho de câmaras de ionização para radioproteção em condições ambientais variadas

EZEQUIEL DA SILVA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Penha Albuquerque Potiens

São Paulo 2019

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Avaliação do desempenho de câmaras de ionização para radioproteção em condições ambientais variadas

Versão Corrigida

Versão Original disponível no IPEN

EZEQUIEL DA SILVA

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Penha Albuquerque Potiens # #

São Paulo 2019 Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

SILVA, E. . **Avaliação do desempenho de câmaras de ionização para radioproteção em condições ambientais variadas** . 2019. 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva, Ezequiel Avaliação do desempenho de câmaras de ionização para radioproteção em condições ambientais variadas / Ezequiel Silva; orientadora Maria da Penha Albuquerque Potiens. -- São Paulo, 2019. 75 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Aplicações) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2019. 1. Câmara de ionização. 2. Radioproteção. 3. Dosimetria. 4. Teste de desempenho. 5. Controle de qualidade. I. Potiens, Maria da Penha Albuquerque , orient. II. Título. Dedicatória

Mais um degrau, mais um desafio e com certeza mais uma etapa de minha vida finalizada.Gratidão é o sentimento que expressa o carinho que tenho por todos que me apoiaram durante a jornada que tornou possível a realização deste trabalho.

Dedico esse trabalho a minha querida mãe Neuza, aos meus filhos e especialmente à minha esposa Roseli, onde o apoio e compreensão foram imprescindíveis

AGRADECIMENTOS

Ao corpo de funcionários do LCI-IPEN, amigos e entidades a quem agradeço muito pela ajuda no desenvolvimento de minha dissertação.

À professora Dra. Maria da Penha Albuquerque Potiens, por toda confiança, empenho, orientação, e inestimável apoio durante a realização do trabalho.

Aos Colegas e funcionários que não por uma, mas diversas vezes não pouparam esforços em atender às demandas do meu trabalho, adequando por vezes horários e tarefas, de modo a auxiliar as necessidades de minhas atividades. Em especial, aos técnicos Claudinei, Marcos Xavier, Gelson e Aldo que muitas vezes me auxiliaram com ideias e sugestões, sempre me incentivando; Ainda aos amigos João, Lucas e Ladyjane que com contribuições e paciência muito me auxiliaram neste trabalho.

Aos colegas Raphael, Ana Maria e Teresa que sempre estiveram do meu lado dando apoio e ajudando.

Às Dra. Letícia e Dra. Linda que sempre me apoiaram.

E por fim aos meus amigos de longa data pelo constante incentivo, Edmilson Vieira, Uillians Pereira, Francisco Rômulo, Iremar Alves, Rafael Garrido, Ivanci Santos e ArineteBarroncas, dentre tantos outros.

RESUMO

SILVA, Ezequiel. Avaliação do desempenho de câmaras de ionização para radioproteção em condições ambientais variadas. 2019. 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

Esse trabalho apresenta uma proposta metodológica para verificar o desempenho das câmaras de ionização comerciais para radioproteção utilizadas no levantamento radiométrico em radiodiagnóstico nas cinco regiões brasileiras para os parâmetros de umidade e temperatura. Para isso, foi construído um sistema de climatização para simular as diversas condições ambientais as quais estes instrumentos de medição são expostos quando utilizados em campo.O presente trabalho teve como objetivo diminuir erros na medição em função do desempenho das câmaras de ionização, aumentando a segurança dos trabalhadores ocupacionalmente expostos, dos usuários, do público em geral e impactar na redução com custos estruturais tais como troca de visoresplumbíferos, revestimento adequado das paredes das salas de radiologia dentre outras ações de radioproteção. Foram simuladas as condições climáticas das cinco regiões do território nacional, todos os estados simulados apresentaram coeficientes de variação em relação as taxas de dose acumulada menores que 5%. O sistema de climatização desenvolvido de baixo custo apresentou boa eficiência nas faixas de umidade no intervalo de 40% a 100% e para simulações partindo da temperatura ambiente até 50 °C. O sistema de climatização pode ainda ser utilizado para tratar a umidade dos instrumentos de medição melhorando significativamente sua performance.

Palavras-chave: câmara de lonização; radioproteção; dosimetria; teste de desempenho; controle de qualidade.

ABSTRACT

SILVA, Ezequiel. **Performance evaluation of ionization chambers for radiation protection in various environmental conditions**. 2019 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

This paper presents a methodological proposal to verify the performance of commercial ionization chambers for radioprotection used in radiometric survey in radiodiagnosis in the five Brazilian regions for humidity and temperature parameters. For this a climate system was built to simulate the various environmental conditions to which these measuring instruments are exposed when used in the field. The present work aimed to reduce measurement errors due to the performance of ionization chambers, increasing the safety of occupationally exposed workers, users and the general public and to impact the reduction with structural costs such as changing lead glass, proper wall covering among other radioprotection actions. The climatic conditions of the five regions of the national territory were simulated, all simulated states presented coefficients of variation with respect to cumulative dose rates below 5%. The developed low cost acclimatization system showed good efficiency in the humid range in the range of 40% to 100% and for simulations starting at room temperature up to 50 °C. The acclimatization system can also be used to treat the humidity of measuring instruments by significantly improving their performance.

Keywords: ionization chamber; radiologic protection;dosimetry; performance test; quality control.

SUMÁRIO

Ρ	á	gi	n	а
•	u	Б١		u

AGRA	DECIMENTOS	
RESUN	40	IV
ABSTR	ACT	V
SUMÁ	RIO	VI
LISTA I	DE FIGURAS	IX
LISTA I	DE TABELAS	Х
1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	11
1.1.1	Objetivos Específicos	11
1.2	Justificativa	11
2	FUNDAMENTOS	15
2.1	Detectores de Radiação	15
2.1.1	Câmaras de Ionização	15
2.2	Teste de desempenho do sistema de detecção	17
2.2.1	Tempo de Estabilização	17
2.2.2	Teste de corrente de fuga	17
2.2.3	Teste de repetibilidade	18
2.2.4	Teste de estabilidade a longo prazo	18
2.3	Calibração de Equipamentos	18
2.3.1	Calibração de Instrumentos de Proteção e Monitoramento de Radiação	19
2.4	Proteção Radiológica	19
2.5	Princípios de Proteção Radiológica	20
2.5.1	Princípio da Justificação	20
2.5.2	Princípio da Limitação de Dose Individual	20
2.5.3	Princípio de Otimização	21
2.5.4	Prevenção de Acidentes	21
2.6	Principais Grandezas e Unidades de Radioproteção	21
2.6.1	Atividade	21
2.6.2	Exposição	21
2.6.3	Dose Absorvida	22
2.6.4	Monitoramento de área	22

	23
2.6.6 Equivalente de dose direcional $H^*(d,\Omega)$	24
2.6.7 Kerma (kinetic energy released in matter)	25
2.7 Levantamento Radiométrico	25
2.7.1 Metodologia para realizar o levantamento radiométrico nível radiodiagnóstico	25
2.8 Câmara Climática	27
2.9 Clima	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Materiais	29
3.1.1 Sistema de Climatização	29
3.1.2 Sistema de Detecção	29
3.1.3 Sistema emissores de radiação	29
3.2 Métodos	30
3.2.1 Calibração	30
3.2.2 Programa de controle de qualidade	31
3.2.2.1 Tempo de estabilização	31
3.2.2.2 Teste de corrente de fuga	33
3.2.2.3 Teste de repetibilidade	34
3.2.2.4 Teste de estabilidade a longo prazo	35
3.2.3 Construção do sistema de climatização	35
3.2.4 Seleção dos parâmetros de umidade e temperatura para o ensaio de climatização	38
3.2.5 Ensaio de climatização	42
3.2.6 Modo de operação do sistema de climatização	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Calibração	44
4.2 Estabilidade do sistema de detecção	45
4.2.1 Tempo de Estabilização	45
4.2.2 Teste de corrente de fuga	46
4.2.3 Teste de repetibilidade	46
4.2.4 Teste de estabilidade a longo prazo	46
4.3 Sistema de Cimatização	46
4.4 Ensaios no sistema de climatização	50
4.4.1 Resultados da primeira série de medição	50
4.4.1.1 Resultados da Região Norte	50

4.4.2	Resultados da segunda série de medição	.54
4.4.2.1	. Resultados da Região Norte	.57
4.4.2.2	Resultados da Região Sul	.57
4.4.2.3	Resultados da Região Nordeste	.59
4.4.2.4	Resultados da Região Centro-Oeste	.62
4.4.2.5	Resultados da Região Sudeste	.64
4.5	Outras Aplicações do Sistema de Climatização	.66
5	CONCLUSÃO	.68
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	.69
REFER	ÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.70

LISTA DE FIGURAS

Página

FIGURA 1 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE FUNCIONAMENTO DE UMA CÂMARA DE IONIZAÇÃO 16 FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA (A) CAMPO DE RADIAÇÃO REAL (B) EXPANDIDO (C) EXPANDIDO E ALINHADO 23 FIGURA 3 - GEOMETRIAS DE RADIAÇÃO DA ESFERA ICRU NO PONTO P' 24 FIGURA 4 - CROQUI DE UMA SALA DE RAIOS X 27 FIGURA 5 - CÂMARA CLIMÁTICA INDUSTRIALIZADA MOD. Q315C 25 FIGURA 6 - ARRANIO PARA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 31 FIGURA 7 - ARRANIO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 31 FIGURA 8 - ARRANIO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 9 - ARRANIO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 10 - ARRANIO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 33 FIGURA 11 - ARRANIO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 12 - ARRANIO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DO SORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 <		
FIGURA 2- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA (A) CAMPO DE RADIAÇÃO REAL (B) EXPANDIDO (C) EXPANDIDO E ALINHADO 22 FIGURA 3 - GEOMETRIAS DE RADIAÇÃO DA ESFERA ICRU NO PONTO P' 24 FIGURA 4 - CROQUI DE UMA SALA DE RAIOS X 27 FIGURA 5 - CÂMARA CLIMÁTICA INDUSTRIALIZADA MOD. Q315C. 28 FIGURA 6 - ARRANJO PARA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO 30 FIGURA 7 - ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 31 FIGURA 8 - ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 32 FIGURA 9 - ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 33 FIGURA 10 - ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 34 FIGURA 11 - ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 34 FIGURA 12 - ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 34 FIGURA 12 - ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800. 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UNIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37	Figura 1 - esquema simplificado de funcionamento de uma câmara de ionização	16
FIGURA 3 - GEOMETRIAS DE RADIAÇÃO DA ESFERA ICRU NO PONTO P' 24 FIGURA 4 -CROQUI DE UMA SALA DE RAIOS X 27 FIGURA 5 - CÂMARA CLIMÁTICA INDUSTRIALIZADA MOD. Q315C. 26 FIGURA 6 -ARRANJO PARA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 x 5 - 1800 31 FIGURA 7 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 x 5 - 1800 31 FIGURA 8 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 9 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 10 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 33 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 18 - DOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO E MA FUNCIONAMENTO 34 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO MA PARED	Figura 2- representação esquemática (a) campo de radiação real (b) expandido (c) expandido e alinhado	23
FIGURA 4 -CROQUI DE UMA SALA DE RAIOS X 27 FIGURA 5 - CÂMARA CLIMÁTICA INDUSTRIALIZADA MOD. Q315C. 28 FIGURA 6 -ARRANJO PARA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO 30 FIGURA 7 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 31 FIGURA 8 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 9 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 33 FIGURA 10 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 33 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 20 - POSIÇÃ	Figura 3 - geometrias de radiação da esfera ICRU no ponto P'	24
FIGURA 5 - CÂMARA CLIMÁTICA INDUSTRIALIZADA MOD. Q315C	Figura 4 -croqui de uma sala de raios X	27
FIGURA 6 -ARRANJO PARA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO 30 FIGURA 7 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 31 FIGURA 8 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 9 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 10 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 32 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 37 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 37 FIGURA 21 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO MAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 36 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTE	Figura 5 - câmara climática Industrializada Mod. Q315C	28
FIGURA 7 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800	FIGURA 6 -ARRANJO PARA CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DE IONIZAÇÃO	30
FIGURA 8 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 32 FIGURA 9 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 33 FIGURA 10 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 33 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 34 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 34 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 36 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 36 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 <t< td=""><td>FIGURA 7 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800</td><td> 31</td></t<>	FIGURA 7 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800	31
FIGURA 9 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 33 FIGURA 10 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 33 FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 36 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 36 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 36 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 36 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO 45 FIGURA 24 - SUPORTE	FIGURA 8 -ARRANJO DO TESTE DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180	32
FIGURA 10 - ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 33 FIGURA 11 - ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800 34 FIGURA 12 - ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 36 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 36 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 42 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO 45 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 X 5 - 1800 E 10 X 5 - 180 45 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÚLCA 45 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DA	FIGURA 9 -ARRANJO DO TESTE DE CORRENTE DE FUGA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800	33
FIGURA 11 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 1800	Figura 10 -arranjo do teste de corrente de fuga câmara de ionização mod. 10 X 5 - 180	33
FIGURA 12 -ARRANJO DO TESTE DE REPETIBILIDADE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10 X 5 - 180 34 FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 36 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO 49 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 X 5 – 1800 E 10 X 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÍLICA 66 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO 67	Figura 11 -arranjo do teste de repetibilidade câmara de ionização mod. 10 X 5 - 1800	34
FIGURA 13 - CAIXA DE PMMA COM AS DIMENSÕES INDICADAS 35 FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO 36 FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 36 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO 49 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 E 10 x 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESECADOR E SÍLICA 60 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO 67	Figura 12 -arranjo do teste de repetibilidade câmara de ionização mod. 10 X 5 - 180	34
FIGURA 14 - DISPOSIÇÃO DOS ORIFÍCIOS DE ENTRADA DE UMIDADE E SAIDA DO SISTEMA ELÉTRICO	Figura 13 - caixa de pmma com as dimensões indicadas	35
FIGURA 15 - SISTEMAS DE CONTROLE DE TEMPERATURA 36 FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 49 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 E 10 x 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÍLICA 66 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO 67	Figura 14 - disposição dos orifícios de entrada de umidade e saida do sistema elétrico	36
FIGURA 16 - DISPOSIÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO E CONTROLE DE TEMPERATURA 37 FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 49 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 E 10 x 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÍLICA 66 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO. 67	Figura 15 - sistemas de controle de temperatura	36
FIGURA 17 - MODELO COMERCIAL DE AQUECEDOR E UMIDIFICADOR UTILIZADO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 38 FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 19 - SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20 - POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 49 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 E 10 x 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÍLICA 60 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO. 67	Figura 16 - disposição do sistema de medição e controle de temperatura	37
FIGURA 18 - POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO E UMIDADE 38 FIGURA 19- SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20- POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21- SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23- REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO. 49 FIGURA 24- SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 E 10 x 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÍLICA 66 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO. 67	Figura 17 - modelo comercial de aquecedor e umidificador utilizado no sistema de climatização	38
FIGURA 19- SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO EM FUNCIONAMENTO 43 FIGURA 20- POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21- SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 47 FIGURA 23 - REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO 48 FIGURA 24 - SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 E 10 x 5 - 180 49 FIGURA 25 - CONJUNTO DESSECADOR E SÍLICA 66 FIGURA 26 -PROCESSO DE TRATAMENTO DAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO 67	Figura 18 - posicionamento do sistema de aquecimento e umidade	38
FIGURA 20- POSIÇÃO DO AQUECEDOR PRÓXIMO A PAREDE LATERAL 47 FIGURA 21- SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23- REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO	Figura 19- sistema de climatização em funcionamento	43
FIGURA 21- SISTEMA DE VENTILAÇÃO 47 FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO 48 FIGURA 23- REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO	Figura 20- Posição do aquecedor próximo a parede lateral	47
FIGURA 22 - TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO NAS PAREDIDES INTERNAS E EXTERNAS DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	Figura 21- sistema de ventilação	47
FIGURA 23- REVESTIMETO DA PAREDE INTERNA E EXTERNA DO SISTEMA PARA REDUZIR A TROCA DE CALOR POR CONDUÇÃO 49 FIGURA 24- SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 x 5 – 1800 e 10 x 5 - 180	Figura 22 - Troca de calor por condução nas paredides internas e externas do sistema de climatização	48
FIGURA 24- SUPORTE PARA CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 X 5 – 1800 E 10 X 5 - 180	Figura 23- Revestimeto da parede interna e externa do sistema para reduzir a troca de calor por condução	o 49
Figura 25 - Conjunto Dessecador e sílica	Figura 24- Suporte para câmara de ionização modelo 10 x 5 – 1800 e 10 x 5 - 180	49
Figura 26 -Processo de Tratamento das câmaras de ionização67	Figura 25 - Conjunto Dessecador e sílica	66
	Figura 26 -Processo de Tratamento das câmaras de ionização	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LIMITES DE DOSE RECOMENDADOS PELA ICRP 60	. 20
TABELA 2 – QUALIDAE DE RADIOPROTEÇÃO ESTABELECIDAS NO LCI	. 30
TABELA 3 – P ARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO NORTE – AMAZONAS – MANAUS	. 39
TABELA 4 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO NORTE – PARA – BELÉM	. 39
TABELA 5 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO NORTE – AMAPA – MACAPA	. 39
TABELA 6 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO NORDESTE – ALAGOAS – MACEIÓ	. 40
TABELA 7 – P ARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO NORDESTE – MARANHÃO – SÃO LUIZ	. 40
TABELA 8 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO CENTRO-OESTE – MATO GROSSO – CUIABÁ	. 40
TABELA 9 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO CENTRO-OESTE – GOIÁS – GOIÂNIA	. 40
TABELA 10 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO SUL – PARANÁ –CURUTIBA	.41
TABELA 11 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO SUL –RIO GRANDE DO SUL – PORTO ALEGRE	.41
TABELA 12 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO SUDESTE – SÃO PAULO – MIRANTE DE SANTANA	.41
TABELA 13 – PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE REGIÃO SUDESTE – RIO DE JANEIRO – FORTE DE COPACABANA	. 41
TABELA 14 — RESULTADO DA CALIBRAÇÃO DE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 X 5 - 1800	. 44
TABELA 15 — RESULTADO DA CALIBRAÇÃO DE CÂMARA DE IONIZAÇÃO MODELO 10 X 5 - 180	. 44
TABELA 16 — RESULTADO DE DOSE ACUMULADA PARA O TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10x5-1800	.45
TABELA $17 - RESULTADO DE DOSE ACUMULADA PARA O TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO CÂMARA DE IONIZAÇÃO MOD. 10x5-180.$. 45
TABELA 18 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AM – MANAUS C.I. MOD. 10x 5 -1800	. 51
TABELA 19 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AM – MANAUS C.I. MOD. 10x 5 -180	. 51
TABELA 20 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – PA – BELÉM C.I. MOD. 10x 5 -1800	. 52
TABELA 21 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – PA – BELÉM C.I. MOD. 10x 5 -180	. 52
TABELA 22 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AP – MACAPA C.I. MOD. 10x 5 -1800	. 53
TABELA 23 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AP – MACAPA C.I. MOD. 10x 5 -180	. 53
TABELA 24 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AM – MANAUSC.I. MOD. 10x 5 -1800	. 54
TABELA 25 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AM – MANAUS C.I. MOD. 10x 5 -180	. 55
TABELA 26 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – PA – BELÉM C.I. MOD. 10x 5 - 1800	. 55
TABELA 27 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – PA – BELÉM C.I. MOD. 10x 5 - 180	. 56
TABELA 28 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AP – MACAPA.C.I. MOD. 10x 5 -1800	. 56
TABELA 29 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AP – MACAPA.C.I. MOD. 10x 5 -180	. 57
TABELA 30 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – RS – PORTO ALEGREC.I. MOD. 10x 5 -1800	. 57
TABELA 31 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – RS – PORTO ALEGREC.I. MOD. 10x 5 -180	. 58
TABELA 32 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – PR – CURITIBAC.I. MOD. 10X 5 -1800	. 59
TABELA 33 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – PR – CURITIBA C.I. MOD. 10X 5 -180	. 59
TABELA 34 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – MA – SÃO LUIZC.I. MOD. 10x 5 -1800	. 60
TABELA 35 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – MA – SÃO LUIZC.I. MOD. 10x 5 -180	. 60
TABELA 36 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AL – MACEIÓC.I. MOD. 10x 5 -1800	. 61
TABELA 37 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – AL – MACEIÓC.I. MOD. 10x 5 -180	. 61
TABELA 38 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – MT – CUIABÁC.I. MOD. 10x 5 - 1800	. 62
TABELA 39 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – MT – CUIABÁC.I. MOD. 10x 5 - 180	. 62
TABELA 40 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – GO – GOIÂNIA C.I. MOD. 10x 5 -1800	. 63
TABELA 41 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – GO – GOIÂNIAC.I. MOD. 10x 5 -180	. 63
TABELA 42 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – SP – SÃO PAULOC.I. MOD. 10x 5 -1800	. 64
TABELA 43 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – SP – SÃO PAULOC.I. MOD. 10x 5 -180	. 64
TABELA 44 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – RJ – RIO DE JANEIROMOD. 10X 5 -1800	. 65
TABELA 45 – RESULTADOS POR SIMULÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS – RJ – RIO DE JANEIROMOD. 10x 5 -180	. 66

1 INTRODUÇÃO

A utilização das radiações ionizantes na radiologia diagnóstica constitui poderosa ferramenta utilizada em larga escala pela medicina e pela odontologia.

Contudo, todo procedimento oriundo do uso desta tecnologia sempre foi associado a efeitos deletérios à saúde, o que evidencia uma constante preocupação com sistemas de radioproteção^(1,5) em função da probabilidade de um dano biológico.

Dentre as contribuições por fontes artificiais, a maior parte provém de sua utilização na medicina, em especial na radiologia diagnóstica que responde por 90% em países desenvolvidos⁽²⁾.

Somente na rede pública do estado de São Paulo, estão disponíveis 4.873 equipamentos radioemissores nível radiodiagnóstico nas modalidades: mamografia, radiologia convencional e tomografia⁽³⁾.

Portanto, é necessário quantificar o uso das radiações ionizantes e operar dentro dos limites aceitáveis e/ou controláveis, destinados a trabalhadores ocupacionalmente expostos, pacientes submetidos a procedimentos e para o público em geral^(1,4).

Na radiologia diagnóstica, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) preconiza a realização de testes periódicos para verificar o desempenho dos equipamentos radioemissores, são estes: controle de qualidade para avaliar o desempenho dos equipamentos radioemissores, o teste de radiação de fuga para verificar se os níveis de radiação detectados estão de acordo com as restrições estabelecidas e o levantamento radiométrico que visa verificar se os níveis de aque estão expostos os trabalhadores e o público em geral, estão de acordo com os valores estabelecidos conforme a legislação vigente^(4,5).

O levantamento radiométrico monitora os níveis de radiação no entorno da estrutura onde o equipamento radioemissor foi instalado, esta avaliação é periódica e ocorre a cada 4 anos^(1,4), ou em um intervalo tempo menor quando há a troca de equipamento (mesmo modelo ou superior, troca de modalidade de

operação), peças estruturais (tubo de raios x, geradores) dos equipamentos ou alteração na estrutura física do centro de radiodiagnóstico como a modificação do layout da sala de equipamentos emissores de raios X, troca de porta, troca de visor, etc⁽⁴⁾.

A quantidade de equipamentos radioemissores em funcionamento em todo território nacional, reafirma a necessidade da confiabilidade das medições realizadas.

Portanto, erros na tomada de dados em função do desempenho dos instrumentos de medição, pode afetar toda a cadeia operacional do setor de radiodiagnóstico, do operador ao usuário final.

Estes instrumentos de medição devem ser periodicamente calibrados junto aos Laboratórios de Calibração rastreados à rede nacional ou internacional de metrologia das radiações ionizantes, nas qualidades de feixes de raios X diagnósticos.

No Brasil, a autorização de operação de um laboratório de calibração é fornecida pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), por intermédio do Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração, CASEC⁽⁶⁾.

Para as medições de radioproteção são utilizados detectores específicos para esta finalidade, sendo que os mais utilizados são às câmaras de ionização (CI).

Testes de desempenho devem ser aplicados a CI com a finalidade de verificar a fidelidade das respostas do instrumento no ato das medições e seu comportamento ao longo do tempo⁽⁷⁾.

A confiabilidade é assegurada por meio da calibração dos instrumentos de medição em laboratório autorizado. O desempenho e o comportamento da CI devem ser testados conforme parâmetros técnicos estabelecidos por normas internacionais, dentro de uma cadeia metrológica que devem ser atendidospelo fabricante e exigidos por órgãos fiscalizadores, lhe conferindo um certificado de calibração.

A norma internacional IEC 61674⁽⁸⁾, publicada no ano de 2013, estabelece os requisitos técnicos que um dosímetro para radiodiagnóstico deve possuir para ser utilizado nos campos de radiação aplicados à radiologia médica até 150 kV, incluindo mamografia, radiologia convencional e tomografia computadorizada.

De acordo com a legislação nacional, os instrumentos para medição utilizados em levantamento radiométrico e dosimetria de feixe, devem ser calibrados a cada dois anos ⁽¹⁾.

Os procedimentos de calibração para os instrumentos utilizados em radioproteção devem ser implantados em laboratório de metrologia, com parâmetros bem definidos, como a qualidade do feixe de raios X e condições ambientais controladas, conforme recomendações da norma ISO 4037⁽⁹⁾*Radiological protection x and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy*daInternationalAtomic Energy Agency (IAEA), na*Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments* SRS Nº 16⁽¹⁰⁾.

Condições ambientais controladas não se repetem ao utilizar a uma CI em campo, especialmente para as medições de levantamento radiométrico. Neste procedimento, parte das medições são realizadas em áreas abertas e a CI é exposta durante um intervalo de tempo significativo a condições ambientais adversas.

Determinar a influência por condições ambientais de umidade e temperatura em qualquer parte do Brasil para operar dentro de limites aceitáveis de exatidão de acordo com a norma vigente^(1,5) é fundamental, garantindo a confiabilidade e a qualidade dos dados no momento da medição.

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um sistema de climatização similar às câmaras climáticas comerciais, com o propósito de simular condições ambientais encontradas no momento da medição em campo nas diversas regiões do Brasil para os parâmetros de umidade e temperatura, estimando a influência destes fatores nos valores obtidos. Foram realizados testes de estabilidade para CI utilizada em serviços de radiodiagnóstico para proteção radiológica propostos pela norma internacional pela International Eletrotechnical Commission (IEC) sob o título *Medical electrical equipment – Dosimeters with ioization chambers and/or semi-conductor detectors as used in x-ray diagnosis imaging* IEC 61674⁽⁸⁾.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é a elaboração de uma metodologia para a avaliação do desempenho das câmaras de ionização para radioproteção comerciais utilizadas em campo expostas a condições ambientais variadas.

1.1.1 Objetivos Específicos

- I. Calibração do sistema detector em feixes padrões para radiação X;
- II. Implementação dos testes de estabilidade propostos pela Norma internacional IEC 61674, para câmaras de ionização utilizadas em radioproteção;
- III. Desenvolvimento e implantação de um sistema de climatização;
- IV. Avaliação do comportamento das câmaras de ionização para radioproteção, sob condições climáticas simuladas das cinco regiões brasileiras.

1.2 Justificativa

O clima tropical brasileiro propicia variações bruscas de temperatura e fatores ambientais de umidade naturalmente acima de 80% em quase todo território nacional, condição acima da tolerância operacional das CI para radioproteção recomendadas pelo fabricante. Utilizadas em campo, as CI são expostas àcondições operacionais e ambientais adversas, tomadas de decisão para sistemas de radioproteção são diretamente impactados pelas respostas deste instrumento de medição, a busca por processos que aumentem sua precisão, é a busca por ações que colaborem com protocolos de radioproteção e que beneficiem direta ou indiretamente todos os usuários desta tecnologia.

2 FUNDAMENTOS

2.1 Detectores de Radiação

Detector de radiação é um dispositivo que, colocado em um meio onde exista um campo de radiação, este tenha sensibilidade para indicar a sua presença ou mesmo quantificá-la⁽¹¹⁾.

Existem diversos processos pelos quais diferentes radiações podem interagir com o meio material utilizado para medir ou indicar características dessas radiações.

Entre esses processos, os mais utilizados são os que envolvem a geração de cargas elétricas, a geração de luz, a sensibilização de películas fotográficas, a criação de traços no material, a geração de calor e alterações da dinâmica de certos processos químicos.

Normalmente, um detector de radiação é constituído de um elemento ou material sensível à radiação e um sistema que transforma esses efeitos em um valor relacionado a uma grandeza de medição dessa radiação.

2.1.1 Câmaras de Ionização

As CI foram desenvolvidas com o objetivo de possibilitar a medição da intensidade das radiações ionizantes. Características como boa reprodutibilidade, alta sensibilidade e estabilidade, as colocam como instrumentos prioritários para a detecção de feixes de raios X⁽¹²⁾.

Esses detectores são construídos com formatos, materiais e dimensões que se adequam a finalidade (tipo de grandezas, radiação, intensidade, etc.) para o qual são destinados.

Em geral os detectores de radiação a gás estão baseados na medição da ionização gerada pela passagem da radiação ionizante pelo volume sensível do detector (preenchido com gás), o sinal medido é resultado da coleta de todos os íons primários, gerados pela radiação incidente, a partir da aplicação de uma diferença de potencial externa, cria-se um fluxo de íons (corrente elétrica da ordem de 10⁻¹² A) que é medido por um instrumento acoplado a câmara de ionização, o eletrômetro. Esse dispositivo fornece indiretamente a leitura da

intensidade da radiação incidente, pois a mesma deve ser proporcional ao fluxo de íons ^(12,13) conforme esquema abaixo.



Figura 1- Esquema simplificado de funcionamento de uma câmara de ionização

Fonte: autor da dissertação

Mesmo com o surgimento de muitos outros tipos de dosímetros a CI continua o tipo mais simples e mais comum de detector a gás, sendo considerada, na maioria dos casos, o método mais preciso para determinação tanto da dose absorvida quanto da exposição⁽¹³⁾.

A CI pode ser do tipo selada ou não selada. Para a câmara não selada, ou aberta, é necessário corrigir a leitura da mesma para as condições ambientais de calibração, uma vez que a resposta da câmara depende da densidade do gás (neste caso, o ar) e esta densidade varia com as condições de pressão, temperatura e umidade. A correção para a pressão e a temperatura ($F_{T,P}$) é dada pela Equação 1, onde T_T e T_P são, respectivamente, os valores da temperatura (°C) e pressão (kPa) durante as medições.

$$F_{T,P} = \left(\frac{T_T + 273,15}{293,15}\right) \frac{101,30}{P_T}$$
(1)

Na prática dosimétrica, alguns efeitos influenciam na exatidão das medidas, e se tratando de medições radiométricas um dos mais importantes é o efeito da corrente de fuga, que pode mascarar o valor real obtido no ato da medição ⁽¹³⁾.

Por isso, é relevante a implantação de um controle de qualidade para o sistema de detecção ⁽⁸⁾.

2.2 Teste de desempenho do sistema de detecção

Para a confiabilidade da resposta de um sistema de detecção utilizado em radiodiagnóstico até 150 kV, é necessário realizar diversos testes de desempenho no dosímetro como erro intrínseco relativo, repetibilidade, resolução, tempo de estabilização, efeito da radiação pulsado nas grandezas de referência, efeito da fuga de corrente, estabilidade a curto e longo tempo, medições com fonte radioativa de controle, dependência energética dentre outros, em conformidade com a norma publicada em 2013, IEC 61674⁽⁸⁾, com o objetivo de estabelecer condições satisfatórias de funcionamento do instrumento de medição utilizado.

Neste trabalho, foi implantadoum programa de controle de qualidade para o sistema de detecção para radioproteção incluindo os testes de estabilidade, tempo de estabilização, teste de corrente de fuga, repetibilidade a curto e em longo prazo ^(8,14).

2.2.1 Tempo de Estabilização

O tempo de estabilização é realizado para avaliar quanto tempo é necessário para que o conjunto câmara de ionização e eletrômetro fique eletricamente estável⁽¹⁴⁾a partir do momento da aplicação da alta tensão.De acordo com a norma IEC 61674⁽⁸⁾ a resposta da câmara em condições de irradiação não deve ter variação maior que 2,0% para os intervalos de tempo de estabilização de 15, 30, 45 e 60 minutos.

2.2.2 Teste de corrente de fuga

O teste de corrente de fuga consiste em avaliar a resposta da CI quando não está submetida a uma fonte de radiação. Este teste é realizado antes de qualquer irradiação e sem a presença de nenhuma fonte de radiação observando a variação na resposta do eletrômetro num intervalo de 20 minutos^(8,14). A norma IEC 61674⁽⁸⁾ estabelece que a corrente de fuga não deve exceder 5,0% da menor medição obtida durante uma irradiação com intervalo de pelo menos 1 min. A corrente de fuga pode ser determinada pela equação 2:

$$I_f = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{2}$$

Onde ΔQ é a variação na carga coletada num intervalo de tempo Δt .

2.2.3 Teste de repetibilidade

O teste de repetibilidade (estabilidade em curto prazo) é efetuado um conjunto de 10 medições com a fonte de controle, sob as mesmas condições experimentais. A partir da resposta da câmara de ionização, é medido o grau de concordância entre os resultados dessas medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição ⁽¹³⁾. A norma IEC 61674⁽⁸⁾ estabelece que o coeficiente de variação obtido seja inferior a 3,0% para câmaras utilizadas em radiodiagnóstico.

2.2.4 Teste de estabilidade a longo prazo

Para a realização deste teste é necessário a avaliação ao longo do tempo dos testes de repetibilidade por meio da análise da média dos valores obtidos, ao longo de um tempo de no mínimo seis meses, estabelecendo os valores de referência para esta análise. A norma IEC 61674⁽⁸⁾ estabelece que os limites de variação devem estar dentro de $\pm 2,0\%$.

2.3 Calibração de Equipamentos

De acordo com o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia⁽¹⁵⁾, a calibração é o "conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões".

A calibração de instrumentos tem por objetivo garantir que o instrumento esteja funcionando adequadamente, fornecendo em suas leituras

valores que representem, o mais próximo possível, os valores reais do mensurando, que são indicados por instrumentos padrões ^(16,17).

2.3.1 Calibração de instrumentos de proteção e monitoramento de radiação

O documento SRS Nº16⁽¹⁰⁾ visa garantir que um instrumento esteja funcionando corretamente, portando, será adequado para a sua finalidade de monitoramento. Este documento estabelece todas as condições e os feixes de referência para calibração de instrumentos utilizados em radioproteção. Usa como referência as qualidades recomendadas pela norma ISO 4037⁽⁹⁾.

A calibração significa determinar sob um conjunto controlado de condições padrão, a indicação do instrumento em função do valor medido (a quantidade pretendida para ser medido). Isso deve ser feito em toda a faixa de indicação do instrumento.

2.4 Proteção Radiológica

A Proteção Radiológica tem como objetivo principal propiciar um padrão de proteção ao ser humano sem com isso limitar os benefícios da utilização tecnológica das radiações ionizantes. As recomendações em proteção radiológica, que servem como base para programas e regulamentações, são estabelecidas pela International Radiation Protection Commission (ICRP)⁽¹⁹⁾. A ICRP publicou uma série de relatórios sendo o primeiro em 1928, denominado Publicação 1, que propôs recomendações que foram adotadas em 1958. A partir daí, outras recomendações foram publicadas em 1964, em 1966 e em 1977 (publicação 26) esta última foi ampliada em 1978 e aprimorada em 1980 e 1987. Em 1991, as recomendações foram completamente revisadas(ICRP Publication 60) e em 2007, foram substituídas pela publicação 103⁽²⁰⁾, desta forma foram consolidadas as atualizações e orientações em relação aos fatores de ponderação em tecidos utilizados nos cálculos das grandezas dose equivalente e dose efetiva, calcado nas mais recentes informações de biologia e física das radiações e mantendo os princípios básicos da proteção radiológica: justificação, otimização e limitação de dose.

A autoridade regulatória na área nuclear no Brasil esta a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), referência na área de radioproteção e responsável pela publicação das normas que regulamentam a utilização da radiação ionizante em todo o território nacional.

Os limites anuais de dose individual de trabalhadores ocupacionalmente expostos e indivíduos do público atualmente são recomendados pela Portaria nº 453⁽¹⁾ e pela norma CNEN-NN-3.01⁽⁵⁾.São aqueles estabelecidos pela ICRP 60⁽¹⁹⁾, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Limites de dose recomendados pela ICRP 60

Grandeza	Limite de dose ocupacional	Limite de dose do público
Dose Efetiva	20 mSv/ano*	1 mSv/ano
Dose Equivalente no Cristalino	20 mSv/ano*	15 mSv/ano
Dose Equivalente nas extremidades	500 mSv/ano*	

*Valor médio de cinco anos, não podendo ultrapassar 50 mSv em um único ano.

Fonte: ICRP - 60, 1991

2.5 Princípios de Proteção Radiológica

O sistema de proteção radiológica em radiodiagnóstico está fundamentado nos seguintes princípios^(1,5):

2.5.1 Princípio da Justificação

A justificação é o princípio básico de proteção radiológica que estabelece que nenhuma prática ou fonte adstrita a uma prática deve ser autorizada a menos que produza suficiente benefício para o indivíduo exposto ou para a sociedade, de modo a compensar o detrimento que possa ser causado.

2.5.2 Princípio da Limitação de Dose Individual

A exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificada, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN. Esses limites de dose não se aplicam às exposições médicas.

2.5.3 Princípio de Otimização

O princípio de otimização estabelece que as instalações e as práticas devam ser planejadas, implantadas e executadas de modo que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposições acidentais sejam tão baixos quanto razoavelmente exequíveis, levando-se em conta fatores sociais e econômicos, além das restrições de dose aplicáveis.

2.5.4 Prevenção de Acidentes

No projeto e operação de equipamentos e de instalações deve-se minimizar a probabilidade de ocorrência de acidentes (exposições potenciais). Deve-se desenvolver os meios e implementar as ações necessárias para minimizar a contribuição de erros humanos que levem à ocorrência de exposições acidentais⁽¹⁾.

2.6 Principais Grandezas e Unidades de Radioproteção

2.6.1 Atividade

A grandeza atividade (*A*) é definida como sendo o número de desintegrações nucleares que ocorrem em uma determinada amostra, por unidade de tempo⁽¹⁹⁾. É expressa pela equação 3:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \tag{3}$$

Onde:

 (k_1) é a constante de desintegração e (N) é o número de átomos radioativos contidos na amostra ou material.

A unidade da atividade no Sistema Internacional é o Becquerel (*Bq*), que equivale a uma desintegração radioativa por segundo. A unidade antiga é o Curie (*Ci*), sendo que 1 *Ci* = $37GBq^{(21)}$.

2.6.2 Exposição

A exposição (X) é o quociente de dQ por dm, no qual dQ é a soma das cargas elétricas de todos os íons de um mesmo sinal, produzidos no ar quando

todos os elétrons e pósitrons liberados pelos fótons, num elemento de ar de massa *dm*, são completamente freados⁽²¹⁾. Conforme a equação 4:

$$X = \frac{dQ}{dm} \tag{4}$$

A unidade especial dessa grandeza é o Roentgen (*R*). No sistema internacional de unidades (SI), a unidade utilizada para exposição é Coulomb/kilograma (*C/kg*). A relação entre *R* e *C/kg* é 1 *R* = 2,58x10⁻⁴*C/kg*⁽¹¹⁾.

2.6.3 Dose Absorvida

A dose absorvida, D, é a quantidade de energia depositada (dE) pela radiação ionizante em qualquer meio, por unidade de massa (dm) do material absorvedor. Essa grandeza pode ser utilizada para qualquer tipo de radiação e medida em todo tipo de material ^(11,22). Conforme a equação 5:

$$X = \frac{dE}{dm}$$
(5)

A unidade da dose absorvida no Sistema Internacional é *J/kg*, sendo sua unidade de uso o gray (*Gy*), onde 1 *Gy* equivale a 1 *J/kg*.

2.6.4 Monitoração de área

Para fins de radioproteção na rotina, é desejável caracterizar a quantidade de irradiação potencial dos indivíduos em termos de equivalente de dose.

Esta grandeza operacional é definida utilizando um *phantom* que simula o corpo humano denominado esfera ICRU⁽¹⁰⁾.

A esfera ICRU possui 30 cm de diâmetro, é constituída de um material com uma densidade de 1 g·cm⁻³ e uma composição em massa de 76,2% de oxigênio, 11,1% de carbono, 10,1% de hidrogênio e 2,6% de azoto.Esta composição é chamada tecido ICRU.

Para monitoração de área, é útil estipular certos campos de radiação que são derivados do campo de radiação real. Os termos "expandido" e "alinhado" são usados para caracterizar esses campos de radiação derivados. No campo expandido, a fluência e suas distribuições direcionais e de energia têm o mesmo valor em todo o volume de interesse como no campo real no ponto de referência⁽¹⁰⁾.

No campo alinhado, a fluência e sua distribuição de energia são as mesmas que no campo expandido, mas a fluência é unidirecional. Uma apresentação esquemática de um alinhamento e expansão do campo de radiação são dadas na Figura 2.

Figura 2 - Representação esquemática de (a) um campo de radiação real, (b) um campo de radiação expandido, e (c) um campo de radiação expandido e alinhado.*



Fonte: SRS Nº16,2000

É importante perceber que a definição de expansão e alinhamento é apenas necessária para a definição da quantidade, e não é relevante para as medições feitas com os monitores da área. Instrumentos projetados para medir equivalente de dose ambiental H * (10), devem ter resposta isotrópica⁽¹⁰⁾.

Os dosímetros de área devem ser calibrados e tipo testado (type test) em medições livres no ar; preferencialmente deve-se usar campos¹ de radiação expandidos e alinhados.

2.6.5 Equivalente dose ambiente, H * (d)

A dose equivalente ambiente, H * (d), em um ponto em um campo de radiação, é a dose equivalente que seria produzida pelo campo expandido e

¹O círculo pontilhado é desenhado para ilustrar o tamanho necessário para o campo expandido.

alinhado correspondente, na esfera ICRU na profundidade d, no raio oposto à direção do alinhamento do campo. Sua unidade é o J/kg.

O nome especial para a unidade equivalente de dose ambiente é o Sievert (Sv). Qualquer valor de equivalente de dose ambiental deve incluir uma especificação da profundidade de referência, d. Para simplificar a notação, d deve ser expresso em milímetros. A geometria de radiação da esfera da ICRU no caso de H * (d) é mostrada no diagrama inferior da Figura 3.

Figura 3 - Geometrias de radiação da esfera ICRU no ponto P' na esfera em que a dose equivalente é determinada em (a) um campo de radiação expandido e em (b) um campo de radiação. A radiação pode colidir na esfera da ICRU de diferentes direções no campo expandido. H'(d, Ω) é definido para a direção α do vetor do raio. Em um campo expandido e campo de radiação alinhado o vetor de raio para determinar H*(d) sempre se opõe ao (único) direção do campo de radiação



Fonte: SRS Nº16,2000

2.6.6 Equivalente de dose direcional, H'(d, Ω)

O equivalente de dose direcional, H'(d, Ω), em um ponto em um campo de radiação, é o equivalente de dose que seria produzido pelo campo expandido correspondente, na esfera ICRU a uma profundidade d, em um raio em uma direção especificada Ω . Sua unidade: é o J/kg.

Também neste caso, o nome especial para a unidade de equivalente de dose é o Sievert (Sv). Qualquer declaração de equivalente de dose direcional deve incluir uma especificação de a profundidade de referência d e a direção Ω. Para simplificar a notação, d deve ser expresso em milímetros.

A geometria de radiação da esfera da ICRU no caso de H'(d, Ω) é mostrada no diagrama na Figura 3.

Para uma radiação fracamente penetrante, uma profundidade de 0,07 mm para a pele e 3 mm para os olhos estão empregados. A dose direcional equivalente para essas profundidades é então denotada por H'(0,07, Ω) e H'(3, Ω), respectivamente. No caso particular de um processo unidirecional de um campo, a direção pode ser especificada em termos do ângulo α entre o raio opondo-se ao campo do incidente e ao raio especificado.

Para radiação fortemente penetrante, uma profundidade de 10 mm é atualmente recomendada. O equivalente de dose ambiente para essa profundidade é então denotada por H*(10). Para radiação fracamente penetrante, é empregada uma profundidade de 0,07 mm para a pele e 3 mm para o olho com notação análoga.

2.6.7 Kerma

A grandeza kerma (K) é definida como sendo a soma das energias cinéticas iniciais (dE) de todas as partículas carregadas liberadas por partículas indiretamente ionizantes incidentes em um material de massa (dm)^(22,23). Esta grandeza é válida somente para a radiação indiretamente ionizante (gama, raios X e nêutrons). Conforme a equação 6.

$$K = \frac{dE}{dm} \tag{6}$$

A unidade da grandeza kerma é a mesma da grandeza dose absorvida, J/kg ou *Gy*, sendo 1 *Gy* = 1 *J/kg*.

2.7 Levantamento Radiométrico

Tem o objetivo monitorar a radiação no entorno das salas de exames com equipamentos radioemissores, verificando se os níveis de equivalente de dose ambiente a que estão expostos os trabalhadores e o público em geral estão de acordo com as restrições estabelecidas na legislação^(1,4,5).

- 2.7.1 Metodologia e materiais para realizar o levantamento radiométrico nível radiodiagnóstico
 - a) Utiliza-se monitor de área (detector) com tempo de resposta adequado e devidamente calibrado;
 - b) Objeto espalhador (água ou acrílico) com dimensões aproximadas às do abdômen de um adulto típico. (massa de 60 a 75 kg e altura de 1,60 a 1,75m);
 - c) Trena;
 - d) Confeccionar o croqui da sala de Raios X conforme figura 4, devese identificar as áreas adjacentes;
 - e) Representar e identificar no croqui o tubo de raios X, painel de comando, biombos, portas, janelas, mesa de exame e bucky vertical conforme figura 4;
 - f) Selecionar os pontos de interesse para medições;
 - g) Na medição, selecionar os parâmetros de operação, a maior tensão do tubo adotada nos exames de rotina, o tempo de exposição e a corrente anódica adequados ao tempo de resposta do monitor utilizado;
 - h) Selecionar o maior tamanho de campo permitido;
 - i) Direcionar o feixe de raios X para a barreira primária a ser avaliada e colocar o objeto espalhador (*phantom*) na posição que seria ocupada pelo paciente;
 - j) Posicionar o monitor (detector) no primeiro ponto de medida, atrás da barreira primária;
 - k) Realizar uma exposição e registrar a leitura do monitor;
 - Para barreiras secundárias radiação espalhada e de fuga, colocar o objeto espalhador (*phantom*) na posição mais frequentemente ocupada pelo paciente;
 - m) Posicionar o tubo de raios X sobre o objeto espalhador e selecionar o maior campo de radiação permitido;
 - n) Posicionar o monitor no primeiro ponto de medição, atrás da barreira secundária;
 - o) Realizar uma exposição e registrar a leitura do monitor;

- p) Para calcular os resultados obtidos, definir os fatores de uso⁽⁴⁾ (U) para cada uma das barreiras primárias, de acordo com a fração da carga de trabalho em que o feixe primário é dirigido a essa barreira;
- q) Definir os fatores de ocupação⁽⁴⁾ (T) a partir de estimativa, da fração de permanência do indivíduo que fica maior tempo na área em questão, ao longo do ano;
- r) Determinar a carga de trabalho⁽⁴⁾ máxima semanal (W), a partir do número aproximado de pacientes por dia (ou por semana) e dos parâmetros operacionais mais utilizados;
- s) Corrigir as leituras fornecidas pelo monitor levando em conta o tempo de resposta, fator de calibração para o feixe atenuado e condições ambientais de temperatura e pressão.



Figura 4 - Croqui de uma sala de raios X, representação de estruturas e pontos de medição em vermelho

Fonte: autor da dissertação

2.8 Câmara Climática

Câmaras climáticas são equipamentos usados para realizar a simulação de determinadas condições ambientais (Figura 5). Estes equipamentos são utilizados em diversos segmentos industriais (farmacêutico, alimentício, etc.) e em instituições de pesquisas (universidades, laboratórios, etc.) para os mais diversos fins, tais como: sistemas de calibração, pesquisas sobre conforto térmico, estudo de estabilidade de produtos farmacêuticos, ensaios de produtos

(componentes eletrônicos, dispositivos mecânicos, produtos alimentícios, embalagens, etc.) e outros ⁽²⁴⁾.

Figura 5 - Câmara Climática Industrializada Mod. Q315C



Fonte: http://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/camara-climaticaacesso em 10/02/2019

2.9 Clima

O clima é um recurso natural vital ao nosso bem-estar, saúde e prosperidade. As informações coletadas, gerenciadas e analisadas ajudam tomadores de decisão e usuários a planejar e adaptar suas atividades e projetos às condições esperadas. Desta maneira, decisões podem ser tomadas no planejamento, o que reduz riscos e aperfeiçoam os benefícios socioeconômicos⁽²⁵⁾.

O clima refere-se a um conjunto de dados (temperatura, pressão, umidade) a respeito das condições atmosféricas de um determinado local, durante um período cronológico específico ⁽²⁶⁾.

O tipo de clima depende de uma série de fatores, como latitude, altitude, relevo e radiação solar, além do respectivo bioma. A caracterização do clima de uma região é uma representação do comportamento médio baseada em dados diários da condição atmosférica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Sistema de Climatização

Para a construção do sistema de climatização proposto foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Umidificador de ar GTech Mod. Alergy Free 35W
- Aquecedor VentiSol Mod. AQ 01 800W
- Ventiladores Mod. Mini Fan 4,5W
- Termômetro para ambiente externo analógico Western Graduação Celsius Fahrenheit
- Controlador digital de temperatura Ageon Mod. G101 Color
- Estação de medição de temperatura, umidade e pressão Lufft Mod. Opus 20
- Caixa de polimetil-metacrilato (PPMA) com dimensões 0,60mx 0,65mx 0,60 m
- Papel Alumínio
- Placas de Isopor (espessura de 2 cm)

3.1.2 Sistema de Detecção

Todas as medições foram realizadas utilizando os seguintes sistemas dosimétricos:

- Câmara de ionização, marca Radcal, modelo 10x5 1800,S/N 9853
- Câmara de ionização, marca Radcal, modelo 10x5 180 S/N 7369
- Eletrômetro marca Radcal, modelo 9015 S/N

3.1.3 Sistemas Emissores de Radiação

- Sistema de radiação X marca Pantak/Seifert, modelo Isovolt160 HS, na faixa de operação de radiodiagnóstico clínico (50 kV-150 kV) localizado no Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).
- Fonte de controle de ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, PTW, mod. 8921 S/N 1294 com atividade de 33MBq (1994)

3.2 Métodos

A metodologia proposta no presente trabalho seguiu duas etapas:

Na primeira etapa foram avaliadas as condições de uso das Clutilizadas nos ensaios de climatização, para isto serão cumpridos os quesitos I e II dos objetivos específicos. Com as CI consideradas adequadaspara o uso, inicia-se a segunda etapa, construção do sistema de climatização, seleção dos ensaios climáticos e análise do comportamento das CI, cumprindo os quesitos III, VI.

ETAPA 1

3.2.1 Calibração

Utilizando-se as qualidades de radiação estabelecidas no LCI, cujas características estão detalhadas na Tabela 2 conforme norma ISO 4037⁽⁹⁾,foram aplicados os procedimentos de calibração (Figura 6) nasCI para levantamento radiométrico.

Qualidade de radiação	Filtração total	Diâmetro do colimador	distância	Tensão	Corrente	Energia Efetiva	CSR ²	Taxa de Kerma no Ar
		(cm)	(cm)	(kV)	(mA)	(keV)	(mmCu [†])	(Gy/h)
N-60	4 mm Al + 0,6 mm Cu	70,5	250	60	20	48	0,25	1,94x10 ⁻⁰²
N-80	4 mm Al + 2 mm Cu	70,5	250	80	20	65	0,612	1,03x10 ⁻⁰²
N-100	4 mm Al + 5 mm Cu	70,5	250	100	20	83	1,14	4,88x10 ⁻⁰³
N-150	4 mm Al + 2,5 mm Sn	70,5	250	150	20	118	2,4	4,13x10 ⁻⁰²

Tabela 2 - Qualidades de radiação para radioproteção (feixe estreito série N) estabelecidas no LCI

Fonte: LCI – Ipen, 2014

Figura 6 - Arranjo para calibração da Câmara de ionização de radioproteção proposto pelo SRS 16, no LCI [1] modelo 10 x 5 - 180 e [2] modelo 10 x 5 - 1800

² CSR = Camada semi-redutora



Fonte: Autor da dissertação

3.2.2 Programa de controle de qualidade

Para o estabelecimento de um programa de controle de qualidade do sistema de detecção, foram realizados os testes de estabilidade das câmaras de ionização para radioproteção em conformidade com a norma internacional IEC61674⁽⁸⁾. São quatro testes relacionados a estabilidade da resposta da CI: tempo de estabilização, teste de corrente de fuga, repetibilidade e estabilidade a longo prazo.

3.2.2.1 Tempo de Estabilização

O tempo de estabilização de uma câmara de ionização determina o tempo necessário para que a resposta da câmara se torne eletricamente estável a partir do momento da aplicação da alta tensão⁽²⁾. Quando a câmara de ionização é conectada ao cabo e a alta tensão é aplicada, as cargas elétricas são criadas gerando uma corrente de resposta que não se deve a nenhuma fonte de radiação.

Porém como o conjunto avaliado é um sistema fechado, verificou-se a resposta com a tensão estabelecida pelo próprio conjunto.

Neste teste foi utilizada uma fonte de controle ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y com atividade conhecida e posicionada sob um suporte de acrílico com altura fixa.Quando o conjunto eletrômetro e CI é conectado, como mostram as figuras 7 e 8, a CI é irradiada com a fonte de controle por 2 minutos, verificou-se a resposta de cada CI transcorridos 15, 30, 45 e 60 minutos após aplicação da tensão pelo conjunto.

Figura 7-Esquema do suporte para fonte de controle [1] fonte de controle posicionada no suporte de acrílico (a) sobre a câmara 10 x 5 -1800 (b) conectado ao eletrômetro (c)[2]



Dimensão em milímetros



Fonte: autor da dissertação

Figura 8 -Esquema do suporte para fonte de controle [1] fonte de controle posicionada no suporte de acrílico (a) sobre a câmara $10 \times 5 - 180$ (b) conectado ao eletrômetro (c)[2]



[1]



Fonte: autor da dissertação

3.2.2.2 Teste de corrente de fuga

O teste de corrente de fuga consiste em avaliar a resposta da câmara de ionização quando não está submetida a uma fonte de radiação. Este teste é realizado de duas maneiras: antes de qualquer irradiação e sem a presença de nenhuma fonte de radiação, efetuando a contagem das cargas por 20 minutos, e após uma irradiação prévia, com uma fonte de controle durante 1 minuto, sendo a fonte de radiação retirada e a carga é coletada durante 20 minutos. Oarranjo utilizado conforme esta demonstrado nas Figura 9 e 10.

Figura 9 - Arranjo para a realização do teste de corrente de fuga da CI para radioproteção modelo 10 x 5 - 1800: [1] medição sem a fonte de controle; [2] medição com a fonte de controle posicionada no ponto (a)





Fonte: autor da dissertação

Figura 10 -Arranjo para a realização do teste de corrente de fugada CI para radioproteção modelo 10 x 5 – 180: [1] medição sem a fonte de controle; [2] medição com a fonte de controle posicionada no ponto (a)



Fonte: autor da dissertação

3.2.2.3 Teste de repetibilidade

Para o teste de repetibilidade (estabilidade em curto prazo) com posicionamento fixo do arranjo, foram efetuadas 10 medições consecutivas com a fonte de controle e duração de 1 minuto cada medição e 10 medições consecutivas sem a fonte de controle, sob as mesmas condições experimentais como mostram as figuras 11 e 12, para avaliar a presença de qualquer corrente de fuga.

A partir da resposta da câmara de ionização foi medido o grau de concordância entre os resultados dessas medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição⁽¹³⁾.

Figura 11 - Arranjo para a realização do teste de repetibilidade da CI modelo 10 x 5 – 180: [1] medição sem a fonte de controle; [2] medição com a fonte de controle posicionada




Fonte: autor da dissertação

Figura 12 - Arranjo para a realização do teste de repetibilidade da CI modelo 10 x 5 – 1800: [1] medição sem a fonte de controle; [2] medição com a fonte de controle posicionada



Fonte: autor da dissertação

3.2.2.4 Teste de estabilidade em longo prazo

Para a realização deste teste é necessário a avaliação ao longo do tempo dos testes de repetibilidade realizados durante o período deste trabalho.

Foram estabelecidos os valores de referência para esta avaliação, sendo assumido como a média de todos os valores encontrados para os testes de repetibilidade.

ETAPA 2

3.2.3 Construção do Sistema de Climatização

O sistema de climatização foi construído para avaliar o desempenho em condições simuladas de temperatura e umidade dos diversos modelos de CI disponíveis no mercado.

O volume interior do protótipo foi definido para acomodar as diversas geometrias de CI comerciais utilizadas em campo.

Para este sistema de climatização foi utilizado uma caixa de PMMA nas dimensões 0,60m x 0,65m x 0,60m conforme Figura 13:

Figura 13 - Caixa de PMMA com dimensões indicadas



Fonte: autor da dissertação

Foram feitos dois orifícios com diâmetro de 3 cm cada. A Figura 14 ilustra o posicionamento, o primeiro orifício (a) está localizado na parte superior da caixa de PMMA para a entrada da tubulação de umidade e o segundo (b) na lateral para a passagem da fiação dos sistemas de controle. Estes orifícios foram realizados de forma a permitir uma boa vedação e não comprometer a eficiência do sistema.

Figura 14 - Disposição dos orifícios de entrada de umidade (a) e saída de fiação dos sistemas controladores (b)



O sistema de controle de temperatura pode ser verificado na Figura 15,foram utilizados três termômetros analógicos comerciais para uso em área externa (a), uma estação de controle de umidade, temperatura e pressão calibrada (b) e um controlador digital de temperatura com sensor externo (c).

Figura 15 - Sistema de controle de temperatura: (a) Termômetros analógicos, (b) Estação de controle de umidade, temperatura e pressão calibrada e (c) controlador de temperatura digital com sensor externo



Fonte: autor da dissertação

A disposição dos elementos que formam o sistema de medição da temperatura do sistema de climatização foi distribuída conforme ilustra a Figura 16. A posição do sensor de temperatura do controlador digital levou em consideração o ponto em que será posicionada a CI (c); os termômetros analógicos (a) foram posicionados no ponto médio das paredes da caixa de PMMA para medir a distribuição da temperatura em seu interior comparado a medição da temperatura na estação digital (b). A estação digital de temperatura foi posicionada próximo ao sensor do controlador digital, estabelecendo uma inter-comparação entre os sistemas de medição de temperatura na região de interesse.

Figura 16 - [1] Disposição do sistema de medição e controle de temperatura: (a) termômetros analógicos, (b) estação de umidade, temperatura e pressão e (c) sensor externo do controlador de temperatura [2] Esquema da disposição do sistema de medição e controle de temperatura



Fonte: autor da dissertação

Para osistema de umidade e aquecimento foram utilizados os modelos

comerciais de umidificador e aquecedor de ar, conforme Figura 17.

Figura 17- Modelos comerciais utilizados: umidificador de ar Fabricante G tech Mod. Alergy Free 35W (d) e de um aquecedor de ar Fabricante Ventisol Mod. AQ 01 800W (e).



Fonte: autor da dissesrtação

Optou-se por colocar o umidificador de ar externo para otimizar o espaço interno do sistema de climatização. Para isso foi conectado um tubo entre a saída do umidificador (d) e o orifício na parte superior da caixa de PMMA (g). O aquecedor de ar foi disposto na parte interna do sistema. O arranjo pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Posicionamento do umidificador de ar (d) tubo de conexão (f) orifício superior (g) aquecedor de ar (e).



Fonte: autor da dissertação

3.2.4 Seleção dos parâmetros de umidade e temperatura para o ensaio de climatização

Para este trabalho foram selecionados onze estados das cinco regiões do Brasil; da região norte, os estados do Amazonas, Pará e Amapá; da região nordeste, os estados de Alagoas e Maranhão; da região sudeste, os estados de São Paulo e Rio de Janeiro; da região centro-oeste, os estados de Mato Grosso e Goiás e da região sul, os estados do Paraná e Rio Grande do Sul.

Os parâmetros meteorológicos de umidade e temperatura foram determinados utilizando-se a base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia⁽²⁵⁾ (INMET) que são coletados 24h ininterruptamente por estações meteorológicas automáticas.

Os dados brutos analisadoscorrespondem a amostra de um ano do estado selecionado, estes dados foram separados em 4 períodos distintos dohorário comercial (faixa de horário que geralmente ocorre as medições de levantamento radiométrico), o restante da amostra foi descartada, efetuou-se a média aritmética da

temperatura máxima e da umidade máxima da amostra dos dados selecionados de cada período, conforme as Tabelas de 3 a 13 a seguir:

Tabela 3 – Parâmetros de temperatura e umidade por período	coletado do INMET: Brasil - Região Norte
- Estado Amazonas - Manaus. Período de captação dos dado	os: 28/03/17 à 27 /03/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	$25,86 \pm 0,04$	85,39 ± 0,20
10h - 12h	$26,44 \pm 0,05$	85,47 ± 0,21
13h - 15h	$29,76 \pm 0,07$	$74,02 \pm 0,33$
16h - 18h	31,26 ± 0,08	$67,60 \pm 0,40$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 4 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Norte – Estado Para – Belém. Período de captação dos dados: 29/03/17 à 25/03/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	$24,24 \pm 0,02$	91,31 ± 0,08
10h - 12h	$25,41 \pm 0,04$	91,64 ± 0,10
13h - 15h	$26,98 \pm 0,22$	$89,35 \pm 0,50$
16h - 18h	28,86 ± 0,21	$89,65 \pm 0,30$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 5 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Norte – Estado Amapá – Macapá. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27/03/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	$24,75 \pm 0,03$	91 ± 0,11
10h - 12h	$26,05 \pm 0,06$	90 ± 0,18
13h - 15h	29,71 ± 0,07	78 ± 0,33
16h - 18h	31,13 ± 0,07	$68 \pm 0,36$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 6 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil - Região Nordeste – Estado Alagoas – Maceió. Período de captação dos dados: 02/04/17 à 02/04/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	23,07 ± 0,04	91,09 ± 0,09
10h - 12h	$25,67 \pm 0,07$	89,90 ± 0,15
13h - 15h	26,43 ± 0,12	88,33 ± 0,28
16h - 18h	25,83 ± 0,11	87,51 ± 0,32

Fonte: autor da dissertação

Tabela 7 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Nordeste – Estado Maranhão – São Luiz. Período de captação dos dados: 01/04/17 à 01/04/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	24,91 ± 0,03	$92,04 \pm 0,19$
10h - 12h	$26,43 \pm 0,05$	$91,02 \pm 0,22$
13h - 15h	27,68 ± 0,09	$86,75 \pm 0,35$
16h - 18h	28,16 ± 0,13	$88,35 \pm 0,39$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 8 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Centro-Oeste – Mato Grosso – Cuiabá. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	27,24± 0,05	72,51±0,21
10h - 12h	$24,24 \pm 0,09$	$83,66 \pm 0,36$
13h - 15h	28,73 ± 0,12	70,08 ± 0,51
16h - 18h	31,84 ± 0,13	$58,36 \pm 0,55$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 9 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil - Região Centro-Oeste – Estado Goiás – Goiânia. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	$24,64 \pm 0,05$	68,16 ± 0,22
10h - 12h	22,11 ± 0,11	81,33 ± 0,33
13h - 15h	28,31 ± 0,08	$57,81 \pm 0,48$
16h - 18h	$30,54 \pm 0,08$	$47,34 \pm 0,52$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 10 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Sul – Estado Paraná – Curitiba.Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	$19,44 \pm 0,05$	71,23 ± 0,22
10h - 12h	19,14 ± 0,13	$79,03 \pm 0,49$
13h - 15h	$22,62 \pm 0,14$	64,53 ± 0,41
16h - 18h	$23,58 \pm 0,14$	$60,01 \pm 0,49$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 11 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Sul – Estado Rio Grande do Sul – Porto Alegre. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27/03/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	17,61 ± 0,11	93,45 ± 0,16
10h - 12h	18,74 ± 0,14	$92,19 \pm 0,19$
13h - 15h	20,31 ± 0,19	89,85 ± 0,31
16h - 18h	21,12 ± 0,23	89,82 ± 0,39

Fonte: autor da dissertação

Tabela 12 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Sudeste – Estado São Paulo – São Paulo (Mirante de Santana). Período de captação dos dados: 31/03/17 à 31/03/18

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	17,36 ± 0,11	84,70 ± 0,12
10h - 12h	17,73 ± 0,14	84,79 ± 0,15
13h - 15h	18,73 ± 0,25	84,68 ± 0,29
16h - 18h	19,65 ± 0,37	$85,46 \pm 0,33$

Fonte: autor da dissertação

Tabela 13 – Parâmetros de temperatura e umidade por período coletado do INMET: Brasil – Região Norte – Estado Rio de Janeiro – Forte de Copacabana. Período de captação dos dados: 16/03/18 à 16/03/19

Período	Média de Temperatura (°C)	Média de Umidade (%)
7h - 9h	22,83 ± 0,08	83,15 ± 0,22
10h - 12h	$24,40 \pm 0,10$	$80,55 \pm 0,24$
13h - 15h	26,77 ± 0,11	$74,79 \pm 0,29$
16h - 18h	$26,59 \pm 0,10$	$74,90 \pm 0,26$

Fonte: autor da dissertação

3.2.5 Ensaio de climatização

Inicialmente deve-se selecionar os parâmetros de umidade e temperaturaa serem simulados, e inserir a CI no sistema de climatização.Quando os parâmetros de umidade e temperatura forem atingidos, aguardar no mínimo 15 minutos para a CI estabilizar sob a nova condição climática, conforme manual do fabricante. Após este procedimento, com o posicionamento fixo e reprodutível no interior do sistema, realizar 10 medições com a fonte de controle, com o tempo de irradiação de 1 minuto para cada medição e10 medições sem a fonte de controle, também com o tempo de irradiação de 1 minuto para cada medição de 1 m

registrandoas respostas indicadas no eletrômetro. Este procedimento deve ser repetido para todos os períodos selecionados.

Por se tratar de um instrumento de campo que pode ser utilizado por muitas horas e até em cidades diferentes no mesmo dia, também simulamos dois ensaios climáticos em um mesmo dia, um na parte da manhã e outro na parte da tarde utilizando a mesma metodologia descrita.

3.2.6 Modo de operação do Sistema de climatização

A utilização do sistema climatização deve seguir os seguintes passos:

- Seleção dos dados de temperatura e umidade da região do Brasil que será utilizada no ensaio;
- Com o sistema de porta fechada, ligar os ventiladores e selecionar no controlador digital a temperatura escolhida;
- Após atingir a temperatura selecionada, comparar o valor da temperatura do controlador digital, com a estação digital de temperatura, umidade e pressão e os termômetros analógicos distribuídos no interior do sistema, certificando-se que a temperatura esteja uniformemente distribuída na caixa de PMMA;
- Ligar o umidificador e girar o botão para liberar o vapor d'água para o interior do sistema de climatização. Este processo é manual e deve ser feito aos poucos até atingir a faixa de umidade selecionada para o ensaio;
- Com o sistema em equilíbrio com a temperatura e umidade selecionada colocar a câmara de ionização na posição definida no interior sistema de climatização;
- Aguardar a câmara de ionização estabilizar conforme indicação no manual do fabricante e iniciar as medições com e sem a fonte de controle.

A Figura 19 mostra o sistema de climatização em funcionamento, após ser inserida a câmara de ionização para realização do o ensaio.

Figura 19 - Sistema de climatização operando: (a) Sistemas de aquecimento, umidade e ventilação, (b) Sistemas de controle de temperatura, (c) Isolamento térmico, (d) Sistema de irradiação, (e) Sistema de detecção



Fonte: autor da dissertação

ETAPA 1

4.1 Calibração

A partir da calibração do sistema de detecção foram determinados os coeficientes de calibração para as CI utilizadas neste trabalho utilizando as qualidades de radiação estabelecidas no LCI para medições em radioproteçãonível radiodiagnóstico conforme Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Calibração Câmara de ionização marca Radcal modelo 10x5 – 1800

Qualidade	Taxa de Kerma	Leitura	Coeficiente de
radiação	de reierencia	comgida.	calibração
	Gy/h	μ Gy/min	Gy/u.e.
N-60	2,24x10 ⁻⁰²	3,63x10 ⁺⁰²	1,027
N-80	1,22x10 ⁻⁰²	1,85x10 ⁺⁰²	1,097
N-100	6,13x10 ⁻⁰³	8,27x10 ⁺⁰¹	1,234
N-150	4,78x10 ⁻⁰²	6,90x10 ⁺⁰²	1,154

Fonte: LCI Ipen, 2018

Tabela 15 – Calibração Câmara de ionização marca Radcal modelo 10x5 – 180

Qualidade de radiação	Taxa de Kerma de referência	Leitura corrigida.	Coeficiente de calibração
	Gy/h	μGy/min	Gy/u.e.
N-60	2,24x10 ⁻⁰²	3,54x10 ⁺⁰²	1,055
N-80	1,22x10 ⁻⁰²	1,84x10 ⁺⁰²	1,104
N-100	6,13x10 ⁻⁰³	8,44x10 ⁺⁰¹	1,208
N-150	4,78x10 ⁻⁰²	7,32x10 ⁺⁰²	1,087

Fonte: LCI Ipen, 2019

4.2 Estabilidade do sistema de detecção

4.2.1 Tempo de Estabilização

Para a determinação do tempo de estabilização é importante se desconsiderar as cargas coletadas durante este período, se o instrumento estiver no modo de integração. Desconsiderando estas cargas, podemos concluir que o tempo de 15 minutos é adequado para a estabilização do sistema.

NasTabela 16e17 pode-se observar os valores obtidos para as CI modelos $10 \times 5 - 1800 = 10 \times 5 - 180$ após os tempos de 15, 30, 45 e 60 minutos. Os resultados estiveram dentro de uma variação máxima de 0,8% e 1,34% respectivamente, sendo inferior ao limite de 2% recomendado. Todas as irradiações foram realizadas para 2 minutos.

Tabela 16 – Resultados de dose acumulada CI Radcal modelo 10 x 5 – 1800 obtidos durante a determinação do tempo de estabilização, para uma irradiação de 2 minutos.

Tempo (min)	Dose acumulada (µGy)
15	51,45
30	51,60
45	51,90
60	51,45

Fonte: autor da dissertação

Tabela 17 – Resultados de dose acumulada CI Radcal modelo 10 x 5 – 180 obtidos durante a determinação do tempo de estabilização, para uma irradiação de 2 minutos.

Tempo (min)	Dose acumulada (µGy)
15	36,6
30	36,7
45	37,1
60	36,8

Fonte: autor da dissertação

4.2.2 Teste de corrente de fuga

A corrente de fuga foi medida durante um intervalo de 20 minutos antes e depois de uma irradiação. Neste teste, a corrente de fuga, antese após a irradiação, para a CI modelo $10 \times 5 - 1800$ não ultrapassou 2,42%, e para o modelo $10 \times 5 - 180$ não ultrapassou 3,11%. Os resultados estão dentro do valor recomendado de ±5 % pela norma vigente.

4.2.3 Teste de Repetibilidade

Para os testes de repetibilidade da resposta (estabilidade a curto prazo) foram efetuadas 10 medições consecutivas da carga coletada por 1 minuto.

Foram realizadas 10 séries de medições com a fonte de controle e 10 séries de medições sem a fonte de controle.O coeficiente de variação (Cv)é obtido pela razão entre a média das medições sem a fonte de controle em relação a média das medições com fonte de controle, o valor encontrado ficou abaixo de \pm 5%, para a CI modelo 10 x 5 – 1800.O desvio padrão máximo dessa série de medições encontrado foi 0,69% e 0,49% para as medições com e sem a fonte de controle, respectivamente, e para o modelo 10 x 5 – 180, osdesvios padrões máximos encontrados foram respectivamente 1,1% e 2,3%, estando em conformidade com a norma.

4.2.4 Teste de Estabilidade a Longo Prazo

Utilizando as medições obtidas no teste de repetibilidade foi estabelecido como linha de base para o teste de estabilidade a longo prazo, a média das dez repetições, no valor de 22,58 μ Gy/minpara as medições com a fonte de controle e de 1,149 μ Gy/min, para as medições sem a fonte de controle para a CI modelo 10 x 5 – 1800. Para a CI modelo 10 x 5 – 180, foram estabelecidos os valores de 313,92 μ Gy/minpara as medições com a fonte de controle 1,348 μ Gy/minpara as medições sem a fonte de controle 1,348 μ Gy/minpara as medições sem a fonte de controle 1,348 μ Gy/minpara as medições sem a fonte de controle 1,348 μ Gy/minpara as medições sem a fonte de controle.

ETAPA 2

4.3 Sistema de Climatização

Nos primeiros testes do sistema de aquecimento, foi constatado que a temperatura não estava sendo distribuída de maneira homogênea, decorrenteda

troca de calor no interior da caixa de PMMA, devido as correntes de convecção associadas ao posicionamento do aquecedor.

A parede do sistema de climatização próxima do aquecedor apresentou um aumento de 10°C na temperatura quando comparado às outras paredes, a Figura 20 mostra o posicionamento do aquecedor em relação parede do sistema.

Figura 20 - Posição do aquecedor próximo a parede lateral do sistema de climatização, destacado em vermelho.



Fonte: autor da dissertação

A solução encontrada foi forçar a circulação do ar no interior do sistema climatização, inserindo um sistema de ventilação, para homogeneizar distribuição do calor, e consequentemente diminuir a temperatura na parede próxima ao aquecedor, Figura 21.

Figura 21 -Mini ventiladores comerciais em destaque [1] Mini ventiladores inseridos na caixa forçando a circulação do ar, como mostram as setas em azuis no interior do sistema de climatização





Fonte: autor da dissertação

Com a inserção do sistema de ventilação para forçar a circulação do ar no interior do sistema de climatização, o resultado apresentado mostrou-se satisfatório para a distribuição e homogeneização do calor e a redução da temperatura na parede próxima ao aquecedor.

A temperatura da parede próximo ao aquecedor variou aproximadamente 1 °C em comparação aos outros termômetros fixados nas demais paredes do sistema.

Ainda na fase de testes, verificou-se que o sistema de aquecimento estabilizou na temperatura selecionada com 55 minutos, um tempo relativamente alto para atingir o equilíbrio térmico.

Havia perda de calor por condução no interior do sistema através das paredes da caixa de PMMA, e também troca de calor por condução entre o ambiente e as paredes externas do sistema. As linhas em vermelho na Figura 22 sinalizam a troca de calor pelas paredes do lado interno e externo do sistema de climatização.

Figura 22 - [1] Troca de calor por condução do interior do sistema para o exterior pelas paredes e [2]Troca de calor por contato entre o ambiente externo e as lado externo das paredes.



Fonte: autor da dissertação

Para diminuir a perda de calor por condução, aumentar a eficiência do sistema e reduzir o tempo para se atingir parâmetros selecionados, foi preciso revestir as paredes internas com papel alumínio, Figura 21 (a), de modo que o calor gerado no aquecedor por irradiação reflita na lamina de alumínio e permaneça no interior do sistema.O revestimento diminuiu a contato direto do calor com a parede do sistema diminuindo a transferência de energia pelas paredes internas por condução.

Para reduzir a troca de calor entre o ambiente externo e as paredes externas do sistema, foram revestidas com isoporas paredes externas do sistema de climatização, Figura 23 (b), isolando termicamente o sistema de climatização do ambiente externo.

Figura 23 - (a) Revestimento de papel alumínio para refletir o calor (infravermelho) e (b) Isolamento térmico do sistema e o meio ambiente com isopor



Fonte: autor da dissertação

Após o isolamento térmico, o tempo médio para atingir o parâmetro de temperatura selecionado no sistema de climatização foi reduzido de 55minutos para 20 minutos em média, representando um ganho de 64% na eficiência do sistema.

Apesar do controle do sistema de umidade ser manual, não foi observado nenhum problema significativo no controle deste parâmetro. Manteve-se o valor da umidade dentro das faixas estabelecidas com uma variação de ±3%.

Neste trabalho foi desenvolvido um suporte específico para posicionamento dos modelos de CI submetidas ao ensaio, conforme Figura 24.Como há diferenças entre os modelos produzidos por cada fabricante de CI, será necessário desenvolver um arranjo especifico para posicionar cada modelo a ser avaliado.

Figura 24: Suporte para câmara de ionização modelos $10 \times 5 - 1800 = 10 \times 5 - 180$ [1 e 2] e câmaras de ionização posicionada no suporte (b) e suporte para a fonte de controle (a) [3 e 4]



Fonte: autor da dissertação

4.4 Ensaios no sistema de climatização

4.4.1 Resultados da primeira série de medições

4.4.1.1 Resultados da Região Norte

Esta primeira série de medições foi realizada com os dois modelos de CI utilizadas neste trabalho, em dois dias consecutivos, no primeiro dia foram ensaiados os estados do Amazonas e do Pará e no dia seguinte o estado do Amapá. Ao final de cada dia as CI foram acondicionadas em um dessecador com sílica, e o eletrômetro em *case* próprio do fabricante.

Os resultados obtidos para a cidade de Manaus,para a CI modelo 10 x 5 – 1800 (C1) por período estão apresentados na Tabela 18 e para o modelo 10 x 5 – 180 (C2) na Tabela 19.

Observa-se que mesmo diminuindo os valores de umidade, a fuga de corrente passa a ser significativa para C1, considerando-se que o limite aceitável é de 5%. Para temperaturas maiores este valor chegou a 12%. Para C2, todos os valores estiveram abaixo da tolerância de 5%, registrando 1,31% para a maior

temperatura simulada. As incertezas para M2 nas Tabelas 18 e 19 foram inferiores a 0,07% e 0,11%, respectivamente.

Tabela 18 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais: Brasil – Região Norte – Estado Amazonas – Manaus. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18 - Mod. 10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	19	68	26,79 ± 0,41	1,28	4,7
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$25,86 \pm 0,04$	85,39 ± 0,20	27,78 ± 0,45	2,17	8
10h - 12h	$26,44 \pm 0,05$	85,47 ± 0,21	$27,82 \pm 0,44$	2,19	8
13h - 15h	$29,76 \pm 0,07$	$74,02 \pm 0,33$	$28,38 \pm 0,40$	3,01	11
16h - 18h	31,26 ± 0,08	$67,60 \pm 0,40$	$28,59 \pm 0,44$	3,51	12

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação as taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Tabela 19 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais: Brasil – Região Norte – Estado Amazonas – Manaus. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18 - CI mod. 10 x5 – 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	22,2	60	312,95 ± 4,69	1,66	0,53
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$25,86 \pm 0,04$	85,39 ± 0,20	312,65 ± 4,69	1,75	0,56
10h - 12h	$26,44 \pm 0,05$	85,47 ± 0,21	313,03 ± 4,71	2,22	0,70
13h - 15h	$29,76 \pm 0,07$	$74,02 \pm 0,33$	314,97 ± 4,74	3,41	1,08
16h - 18h	31,26 ± 0,08	$67,60 \pm 0,40$	316,36 ± 4,75	4,15	1,31

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para a cidade de Belém, no estado do Pará, os valores obtidos estão relacionados na Tabela 20. Observa-se o mesmo comportamento da C1 em relação àvariação da temperatura, quanto maior o valor da temperatura maior a fuga de corrente. Com valores de umidade acima de 89% para todos os períodos simulados, a fuga de corrente chegou a 15% na pior condição. Para C2, o penúltimo período simulado se mostrou crítico e o último período ficou acima da tolerância de 5% conforme aponta a Tabela 21. As incertezas para M2 nas Tabelas 20 e 21 foram inferiores a 0,10% e 0,08% respectivamente.

Tabela 20 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Pará – Belém. Período de captação dos dados: 29/03/17 à 25 /03/18 - CI Mod. 10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	22	75	26,85 ± 0,41	1,37	5
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,24 \pm 0,02$	91,31 ± 0,08	$26,9 \pm 0,47$	1,73	6
10h - 12h	25,41 ± 0,04	91,64 ± 0,10	27,13 ± 0,52	1,74	7
13h - 15h	26,98 ± 0,22	$89,35 \pm 0,50$	28,18 ± 0,55	2,76	10
16h - 18h	28,86 ± 0,21	89,65 ± 0,30	$28,99 \pm 0,46$	4,34	15

M1 – Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação as taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	20,4	66	299,43 ± 4,49	1,32	5
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,24 \pm 0,02$	91,31 ± 0,08	304,21 ± 4,56	1,74	0,57
10h - 12h	25,41 ± 0,04	91,64 ± 0,10	304,97 ± 4,58	1,79	0,59
13h - 15h	26,98 ± 0,22	$89,35 \pm 0,50$	319,90 ± 4,86	14,74	4,61
16h - 18h	28,86 ± 0,21	89,65 ± 0,30	321,62 ± 5,12	20,99	6,52

Tabela 21- Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Pará – Belém. Período de captação dos dados: 29/03/17 à 25 /03/18 - CI Mod. 10 x 5 – 180

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação as taxas (%) Fonte: autor da Dissertação

A cidade de Macapá, no estado do Amapá apresentou clima muito próximo ao clima da cidade de Manaus. A umidade sofre um decréscimo ao longo do dia, no entanto, a condição inicial de medição já está 7,8% acima da tolerância de 5%, nesta situação não se recomenda o uso de C1.Os valores de fuga de corrente foram muito maiores chegando a 18% conforme Tabela 22, evidenciando que a sílica não foi suficiente para diminuir a umidade acumulada em C1. A condição inicial para C2 está adequada porém no último período simulado a fuga de corrente chegou 10,68% o que impossibilita realizar medições confiáveis conforme Tabela 23. As incertezas para M2 nas Tabelas 22 e 23 foram inferiores a 0,05% e 0,21% respectivamente.

Tabela 22 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Amapá – Macapá. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18 - CI Mod. 10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	10	62	07.00 . 0.50	2.16	7.0
	19	03	$21,30 \pm 0,33$	2,10	1,0
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,75 \pm 0,03$	91 ± 0,11	28,33 ± 0,56	3,03	11
10h - 12h	26,05 ± 0,06	90 ± 0,18	$28,46 \pm 0,44$	3,34	12
13h - 15h	29,71 ± 0,07	78 ± 0,33	29,73 ± 0,57	4,98	17
16h - 18h	31,13 ± 0,07	68 ± 0,36	$30,3 \pm 0,46$	5,56	18

M1 – Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Tabela	23 -	Resultados	obtidos	para	a simula	ção da	is co	ndições	ambier	ntais I	Brasil	– Reg	jião∣	Norte –
Estado	Amaj	pá – Macap	á. Períoc	do de o	captação	dos da	ados:	28/03/1	7 à 27	/03/18	8 - CI	Mod. 1	10 x !	5 – 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	23,8	66	312,35 ± 4,69	2,05	0,65
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,75 \pm 0,03$	91 ± 0,11	313,51 ± 4,71	2,09	0,66
10h - 12h	26,05 ± 0,06	90 ± 0,18	314,67 ± 4,73	2,32	0,73
13h - 15h	29,71 ± 0,07	78 ± 0,33	318,59 ± 4,79	4,31	1,35

$101 - 101 \qquad 31,13 \pm 0,07 \qquad 00 \pm 0,00 \qquad 342,19 \pm 3,10 \qquad 30,00 \qquad 10,00$	16h - 18h	31,13 ± 0,07	68 ± 0,36	342,19 ± 5,16	36,56	10,68
---	-----------	--------------	-----------	---------------	-------	-------

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

O resultado dos coeficientes de variação da fuga de corrente em relação às taxas de kerma, nessas condições simuladas para C1,apresentaram valores muito acima da tolerância de 5% nos três estados da região norte. Para C2, os estados do Amapá e Pará apresentaram pelo menos um ponto acima da tolerância estabelecida.

4.4.2 Resultados da segunda série de medições

4.4.2.1 Resultados da Região Norte

Na segunda série de medições foi estabelecido o seguinte procedimento: foi realizado apenas um ensaio climático por dia e ao final do ensaio a umidade foi tratada a 40 °C por 8 horas. Após o tratamento térmico, C1 e C2 foram acondicionadas em uma estufa com sílica e o eletrômetro no *case* próprio do fabricante.

Repetiram-se os parâmetros de umidade e temperatura para os estados selecionados da região norte do Brasil.Os resultados obtidos para a cidade de Manaus, por período, estão na Tabela 24.Observa-se que com a C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, mesmo para valores de umidade acima do limite recomendado pelo manual do fabricante, a fuga de corrente para os três primeiros períodos do ensaio estiveram dentro da tolerância considerando-se que o limite aceitável é de 5%. Apenas no quarto período a taxa ficou ligeiramente acima do limite estabelecido, sendo 5,6%. As incertezas para M2 na Tabela 24 foram inferiores a 0,35%.

Tabela 24- Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Amazonas – Manaus. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18- CI mod. 10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura	Umidade	M1	M2	Cv
	(ºC)	(%)	(µGy/min)	(µGy/min)	(%)
inicial	25,5	58,5	25,21 ± 0,37	0,188	0,71

Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$25,86 \pm 0,04$	85,39 ± 0,20	25,41 ± 0,38	0,498	1,9
10h - 12h	26,44 ± 0,05	85,47 ± 0,21	25,84 ± 0,39	0,596	2,3
13h - 15h	$29,76 \pm 0,07$	$74,02 \pm 0,33$	$26,41 \pm 0,42$	1,210	4,5
16h - 18h	31,26 ± 0,08	$67,60 \pm 0,40$	$26,53 \pm 0,40$	1,493	5,6

M2 - Fuga de corrente

Cv –Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação as taxas (%) Fonte: autor da dissertação

Para C2, todos os valores registrados estiveram abaixo da tolerância

de 5% como pode ser observado na Tabela 25. As incertezas para M2 na Tabela 25 foram inferiores a 0,09%.

Tabela 25 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Amazonas – Manaus. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18 - CI mod. 10 x 5 – 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	23,9	52	305,35 ± 4,62	0,557	0,18
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	25,86 ± 0,04	85,39 ± 0,20	306,82 ± 4,61	0,757	0,24
10h - 12h	26,44 ± 0,05	85,47 ± 0,21	307,63 ± 4,71	0,858	0,27
13h - 15h	$29,76 \pm 0,07$	$74,02 \pm 0,33$	310,32 ± 4,75	1,49	0,48
16h - 18h	31,26 ± 0,08	$67,60 \pm 0,40$	311,06 ± 4,73	1,96	0,63

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 –Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação as taxas (%)

Fonte: autor da dissertação

Os resultados para a cidade de Belém, por período, estão na Tabela 26.Observa-se que ao tratar a umidade de C1e realizar apenas este ensaio climático, os valores de umidade,que para esta simulação estão acima do limite recomendado pelo manual do fabricante, e com variação de temperatura no decorrer do ensaio de 4,8 °C, a fuga de corrente para todos os períodos do ensaio estiveram dentro da tolerânciacom uma variação máxima de 0,94%. As incertezas para M2 na Tabela 26 foram inferiores a 6,07%.

Tabela 26 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Para – Belém. Período de captação dos dados: 29/03/17 à 25 /03/18- CI mod. 10 x 5 – 1800

Condição inicial	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)

	22,2	62	25,63 ± 0,41	0,101	0,39
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,24 \pm 0,02$	91,31 ± 0,08	25,62 ± 0,38	0,108	0,42
10h - 12h	25,41 ± 0,04	91,64 ± 0,10	25,72 ± 0,39	0,139	0,54
13h - 15h	26,98 ± 0,22	89,35 ± 0,50	$25,92 \pm 0,43$	0,193	0,74
16h - 18h	28,86 ± 0,21	89,65 ± 0,30	26,05 ± 0,39	0,245	0,94

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para C2, todos os valores registrados estiveram abaixo da tolerância de 5% como podemos observar na Tabela 27. As incertezas para M2 na Tabela 27 foram inferiores a 0,24%.

Tabela 27 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil - Região Norte - Estado Para - Belém. Período de captação dos dados: 29/03/17 à 25 /03/18- CI mod. 10x 5 - 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	22,6	51,6	312,51 ± 4,69	0,229	0,07
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,24 \pm 0,02$	91,31 ± 0,08	314,36 ± 4,72	0,351	0,11
10h - 12h	25,41 ± 0,04	91,64 ± 0,10	313,94 ± 4,72	0,461	0,14
13h - 15h	26,98 ± 0,22	89,35 ± 0,50	314,36 ± 4,71	0,628	0,20
16h - 18h	28,86 ± 0,21	89,65 ± 0,30	313,14 ± 4,69	0,931	0,29

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura para os estados selecionados da região norte do Brasil,para a cidade de Macapá, por período, os resultados podem ser vistos na Tabela 28. Observa-se que após o tratamento de C1e submissão apenas a este ensaio climático, para valores de umidade que decrescem ao longo do ensaio e variação de temperatura de 6,2 °C, a fuga de corrente para os todos os períodos simulados estiveram dentro da tolerância de 5%, com um valor máximo de 1,02 %. As incertezas para M2 na Tabela 28 foram inferiores a 3,48%.

Tabela 28 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Amapá – Macapá. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18- CI mod. 10x5 – 1800

Condição	Temperatura	Umidade	M1	M2	Cv
inicial	(O°)	(%)	(µGy/min)	(µGy/min)	(%)

	20,7	49,9	25,46 ± 0,42	0,089	0,35
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	24,75 ± 0,03	91 ± 0,11	25,45 ± 0,38	0,135	0,53
10h - 12h	$26,05 \pm 0,06$	90 ± 0,18	25,33 ± 0,38	0,143	0,56
13h - 15h	29,71 ± 0,07	78 ± 0,33	25,62 ± 0,51	0,228	0,88
16h - 18h	31,13 ± 0,07	68 ± 0,36	25,92 ± 0,39	0,266	1,02

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para C2, todos os valores registrados estiveram abaixo da tolerância de 5% como podemos observar na Tabela 29. As incertezas para M2 na Tabela 29 foram inferiores a 0,38%.

Tabela 29 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Norte – Estado Amapá – Macapá. Período de captação dos dados: 28/03/17 à 27 /03/18- CI mod. 10x5 – 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	23,9	55	310,83 ± 4,66	0,273	0,8
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	C∨ (%)
7h - 9h	$24,75 \pm 0,03$	91 ± 0,11	311,93 ± 4,68	0,293	0,09
10h - 12h	$26,05 \pm 0,06$	90 ± 0,18	311,95 ± 4,79	0,446	0,14
13h - 15h	29,71 ± 0,07	78 ± 0,33	313,55 ± 4,71	0,814	0,25
16h - 18h	31,13 ± 0,07	68 ± 0,36	310,62 ± 4,66	1,112	0,35

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação as taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

4.4.2.2 Resultados da Região Sul

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura selecionadospara a região Sul do Brasil, simulou-se o clima da cidade de Porto Alegre, os resultados obtidos por período estão na Tabela 30. As incertezas para M2 na Tabela 30 foram inferiores a 0,75%.

Tabela 30 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais no Brasil – Região Sul – Estado Rio Grande do Sul – Porto Alegre. Período de captação dos dados: 31/03/17 à 31/03/18 - CI mod. 10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura	Umidade	M1	M2	Cv
inicial	(0 °)	(%)	(µGy/min)	(µGy/min)	(%)

	17,3	66	25,66 ± 0,38	0,037	0,14
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	17,61 ± 0,11	93,45 ± 0,16	$25,89 \pm 0,39$	0,043	0,16
10h - 12h	18,74 ± 0,14	92,19 ± 0,19	25,82 ± 0,44	0,045	0,17
13h - 15h	20,31 ± 0,19	89,85 ± 0,31	$26,18 \pm 0,44$	0,046	0,18
16h - 18h	21,12 ± 0,23	89,82 ± 0,39	$26,24 \pm 0,42$	0,061	0,23

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Observa-se que com aumidade tratada e submetida apenas a este ensaio climático, para valores de umidade acima do limite recomendado pelo manual do fabricante C1 mostrou um bom comportamento para essa região de baixas temperaturas e com a umidade acima de 90%. As fugas de corrente para os todos os períodos simulados estiveramabaixo da tolerância aceitável de 5%, com uma taxa máxima de 0,18 %.

Para C2, todas as simulações os valores registrados estiveram muito abaixo da tolerância de 5% como pode ser observado na Tabela 31. As incertezas para M2 nas Tabela 31 foram inferiores a 0,13%.

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	16,7	69	308,32 ± 4,62	0,329	0,10
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	17,61 ± 0,11	93,45 ± 0,16	308,11 ± 4,62	0,349	0,11
10h - 12h	18,74 ± 0,14	92,19 ± 0,19	308,49 ± 4,62	0,348	0,11
13h - 15h	20,31 ± 0,19	89,85 ± 0,31	308,71 ± 4,63	0,464	0,15
16h - 18h	21,12 ± 0,23	89,82 ± 0,39	308,41 ± 4,62	0,604	0,19

Tabela 31 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sul – Estado Rio Grande do Sul – Porto Alegre. Período de captação dos dados: 31/03/17 à 31/03/18- Cl mod. 10 x 5 – 180

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 –Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Utilizando os parâmetros selecionados de umidade e temperatura para a cidade de Curitiba, região Sul do Brasil, os resultados obtidos por período, estão na Tabela 32.

Com C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, apesar desta região ter baixas temperaturas a fuga de corrente para todos os períodos do ensaio estiveram dentro da tolerância aceitável de 5%, com uma taxa máxima de 0,36 %.

Para C2,com a condição inicial do ensaio adequada a 0,29%, emtodas as simulações os valores registrados estiveram muito abaixo da tolerância de 5% como pode ser observado na Tabela 33. As incertezas para M2 nas Tabelas 32 e 33 foram inferiores a 3,84% e 0,06% respectivamente.

Tabela 32 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sul Estado Paraná – Curitiba. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19 - Cl mod. 10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	18,5	57	25,77 ± 0,39	0,052	0,20
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$19,44 \pm 0,05$	71,23 ± 0,22	$25,59 \pm 0,43$	0,065	0,25
10h - 12h	19,14 ± 0,13	$79,03 \pm 0,49$	25,53 ± 0,38	0,064	0,24
13h - 15h	$22,62 \pm 0,14$	64,53 ± 0,41	25,69 ± 0,41	0,087	0,34
16h - 18h	23,58 ± 0,14	60,01 ± 0,49	25,77 ± 0,38	0,093	0,36

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 - Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	18,8	55	303,71± 4,58	0,881	0,29
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$19,44 \pm 0,05$	71,23 ± 0,22	310,36 ± 4,69	0,912	0,29
10h - 12h	19,14 ± 0,13	$79,03 \pm 0,49$	308,93 ± 4,63	0,904	0,29
13h - 15h	$22,62 \pm 0,14$	64,53 ± 0,41	313,69 ± 4,71	1,509	0,48
16h - 18h	23,58 ± 0,14	60,01 ± 0,49	316,69 ± 4,75	2,084	0,65

Tabela 33 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sul Estado Paraná – Curitiba. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19 - CI mod. 10 x 5 – 180

M1 –Medição com a fonte de controle
M2 –Fuga de corrente
Cv– Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)
Fonte: autor da Dissertação

4.4.2.3 Resultados da Região Nordeste

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura para o estado selecionado da região nordeste do Brasil,os resultados da simulação da cidade de São Luiz por período, estão na Tabela 34.

Observa-se que C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, mesmo para valores de umidade chegando a 92%, sendo 12% acima do limite recomendado pelo manual do fabricante a fuga de corrente para todos os períodos simulados, estive abaixo da tolerância aceitável de 5%, a taxa máxima registrada foi 2,98%. As incertezas para M2 na Tabela 34 foram inferiores a 3,17%.

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	25	48,6	25,70 ± 0,38	0,129	0,49
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	24,91 ± 0,03	92,04 ± 0,19	25,76 ± 0,37	0,304	1,18
10h - 12h	26,43 ± 0,05	91,02 ± 0,22	25,91 ± 0,39	0,331	1,27
13h - 15h	$27,68 \pm 0,09$	86,75 ± 0,35	26,01 ± 0,39	0,546	2,09
16h - 18h	28,16 ± 0,13	88,35 ± 0,39	26,1 ± 0,39	0,779	2,98

Tabela 34 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Nordeste – Estado Maranhão – São Luiz. Período de captação dos dados: 01/04/17 à 01/04/18 - Cl mod. 10 x 5 – 1800

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 –Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para C2,com a condição inicial do ensaio adequada a 0,18%, em todas as simulações os valores registrados estiveram muito abaixo da tolerância de 5% como pode ser observado na Tabela 35. As incertezas para M2 na Tabela 35 foram inferiores a 0,16%.

Tabela 35 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Nordeste – Estado Maranhão – São Luiz. Período de captação dos dados: 01/04/17 à 01/04/18 - CI mod. 10 x 5 – 180

Condição Temperatura Umidade M1 M2 Cv	Condicao Temperatura Umidade M1 M2 CV
---------------------------------------	---------------------------------------

inicial	(O°)	(%)	(µGy/min)	(µGy/min)	(%)
	23,4	67	312,16 ± 4,72	0,561	0,18
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	C∨ (%)
7h - 9h	24,91 ± 0,03	92,04 ± 0,19	310,05 ± 5,03	0,694	0,22
10h - 12h	$26,43 \pm 0,05$	91,02 ± 0,22	306,82 ± 4,83	1,068	0,34
13h - 15h	$27,68 \pm 0,09$	86,75 ± 0,35	307,41 ± 4,72	1,273	0,41
16h - 18h	28,16 ± 0,13	88,35 ± 0,39	305,14 ± 4,57	1,367	0,45

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura para o estado selecionado da região nordeste do Brasil, os resultados obtidos para a cidade de Maceió, por período, estão na Tabela 36.

Com a C1 tratada e submetida apenas a este ensaio climático, mesmo para valores de umidade de 91%, 11% acima do limite recomendado pelo manual do fabricante, as fugas de corrente para todos os períodos do ensaio estiveram abaixo da tolerância de 5%. Avariação máxima registrada foi 2,22% no último período simulado. Para C2, todas as simulações estiveram muito abaixo da tolerância de 5%, como pode ser observado na Tabela 37. As incertezas para M2 nas Tabelas 36 e 37 foram inferiores a 4,17% e 0,78% respectivamente.

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	22,4	53,5	25,44 ± 0,37	0,155	0,60
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$23,07 \pm 0,04$	91,09 ± 0,09	25,29 ± 0,38	0,158	0,68
10h - 12h	25,67 ± 0,07	89,90 ± 0,15	25,41 ± 0,55	0,484	1,91
13h - 15h	26,43 ± 0,12	88,33 ± 0,28	25,36 ± 0,39	0,632	2,49
16h - 18h	25,83 ± 0,11	87,51 ± 0,32	25,5 ± 0,42	0,568	2,22

Tabela 36 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Nordeste – Estado de Alagoas – Maceió. Período de captação dos dados: 02/04/17 à 02/04/18 - CI mod. 10 x 5 – 1800

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv –Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%) Fonte: autor da Dissertação

Tabela 37 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Nordeste – Estado de Alagoas – Maceió. Período de captação dos dados: 02/04/17 à 02/04/18 - CI mod. 10 x 5 – 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	18,7	68	307,13 ± 4,61	0,338	0,11
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$23,07 \pm 0,04$	91,09 ± 0,09	307,34 ± 4,61	0,655	0,21
10h - 12h	25,67 ± 0,07	89,90 ± 0,15	307,53 ± 4,61	0,886	0,28
13h - 15h	26,43 ± 0,12	88,33 ± 0,28	$307,03 \pm 4,60$	1,159	0,38
16h - 18h	25,83 ± 0,11	87,51 ± 0,32	$306,64 \pm 4,60$	1,293	0,42

M2 – Fuga de corrente

Cv - Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

4.4.2.4 Resultados da Região Centro-oeste

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura para o estado selecionado da região Centro-Oeste do Brasil, os resultados obtidos para a cidade de Cuiabá, por período, podem ser vistos na Tabela 38.

Com C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, mesmo para valores de umidade que decrescem durante o período simulado e uma variação de temperatura de 8,6 °C, a fuga de corrente para os todos os períodos simulados estiveram dentro da tolerância de 5%, com uma taxa máxima de 3,72%.Para C2, todas as simulações estiveram abaixo da tolerância de 5% como pode ser observado na Tabela 38. As incertezas para M2 nas Tabelas 38 e 39 foram inferiores a 0,32% e 0,05% respectivamente.

Tabela 38 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Centro-oeste – Estado Mato Grosso – Cuiabá. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19 - CI mod. 10x5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	23,2	54	25,91 ± 0,38	0,101	0,38
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	27,24± 0,05	72,51±0,21	26,28 ± 0,39	0,124	0,47
10h - 12h	$24,24 \pm 0,09$	83,66 ± 0,36	26,07 ± 0,41	0,312	1,19
13h - 15h	28,73 ± 0,12	70,08 ± 0,51	$26,36 \pm 0,43$	0,578	2,19
16h - 18h	31,84 ± 0,13	58,36 ± 0,55	26,43 ± 0,41	0,985	3,72

M1 – Medição com a fonte de controle

M2 - Fuga de corrente

Cv – Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	23,4	55	311,32 ± 4,67	1,235	0,39
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	27,24± 0,05	72,51±0,21	315,70 ± 4,73	1,264	0,40
10h - 12h	$24,24 \pm 0,09$	83,66 ± 0,36	312,34 ± 4,69	1,309	0,41
13h - 15h	28,73 ± 0,12	70,08 ± 0,51	315,77 ± 4,75	2,058	0,65
16h - 18h	31,84 ± 0,13	58,36 ± 0,55	319,78 ± 4,81	3,412	1,06

Tabela 39 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Centro-oeste – Estado Mato Grosso – Cuiabá. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19 - CI mod. 10x5 – 180

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv - Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura para o estado selecionado da região Centro-Oeste do Brasil na cidade de Goiânia, os resultados obtidos por período simulado estão apresentados na Tabela 40.

Com a C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, a fuga de corrente para os todos os períodos do simulados estiveram abaixo da tolerância de 5%, com uma taxa máxima de 0,64%. As incertezas para M2 nas Tabelas 40 e 41 foram inferiores a 1,11% e 0,21% respectivamente.

Tabela 40 - Resultados	obtidos para a simulação	das condições ambie	entais Brasil – R	egião Centro-oeste -
Estado Goiás – Goiânia.	Período de captação dos o	dados: 19/08/18 à 19	9/08/19 - CI mod.	10 x 5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	23,4	51	25,66 ± 0,33	0,125	0,48
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	C∨ (%)
7h - 9h	$24,64 \pm 0,05$	68,16 ± 0,22	25,68 ± 0,33	0,132	0,51
10h - 12h	22,11 ± 0,11	81,33 ± 0,33	25,55 ± 0,34	0,136	0,53
13h - 15h	28,31 ± 0,08	57,81 ± 0,48	25,67 ± 0,39	0,147	0,57
16h - 18h	30,54 ± 0,08	47,34 ± 0,52	25,57 ± 0,48	0,166	0,64

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 - Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para C2, todas as simulações estiveram abaixo da tolerância de 5% como pode ser observado na Tabela 41.

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	19,8	56	311,96 ± 4,67	0,394	0,12
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$24,64 \pm 0,05$	68,16 ± 0,22	304,96 ± 4,57	0,612	0,20
10h - 12h	22,11 ± 0,11	81,33 ± 0,33	305,34 ± 4,58	0,641	0,21
13h - 15h	28,31 ± 0,08	57,81 ± 0,48	309,95 ± 4,66	1,279	0,41
16h - 18h	$30,54 \pm 0,08$	47,34 ± 0,52	309,48 ± 4,64	1,624	0,52

Tabela 41 - Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Centro-oeste – Estado Goiás – Goiânia. Período de captação dos dados: 19/08/18 à 19/08/19 - CI mod. 10 x 5 – 180

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

4.4.2.5 Resultados da Região Sudeste

Utilizando os parâmetros de umidade e temperatura para o estado selecionado da região Sudeste do Brasil,para a cidade de São Paulo os resultados obtidos por período simulado estão na Tabela 42.As incertezas para M2 nas Tabelas 42 e 43 foram inferiores a 2,45% e 0,22% respectivamente.

Tabela 42 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sudeste – Estado São Paulo – São Paulo (Mirante de Santana). Período de captação dos dados: 28/03/17 à 28/03/18 - CI mod. 10 x 5 – 1800

Condição inicial	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
	16,6	53	25,69 ± 0,38	0,035	0,13
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	17,36 ± 0,11	84,70 ± 0,12	25,82 ± 0,39	0,038	0,15
10h - 12h	17,73 ± 0,14	84,79 ± 0,15	25,85 ± 0,45	0,039	0,15
13h - 15h	18,73 ± 0,25	84,68 ± 0,29	$25,92 \pm 0,44$	0,042	0,16
16h - 18h	19,65 ± 0,37	85,46 ± 0,33	25,93 ± 0,38	0,045	0,18

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 –Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para C2, todas as simulações estiveram abaixo da tolerância de 5% como pode ser observado na Tabela 43.

Tabela 43 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sudeste – Estado São Paulo – São Paulo (Mirante de Santana). Período de captação dos dados: 28/03/17 à 28/03/18 - CI mod. 10 x 5 – 180

Condição inicial	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
	17,2	65	306,35 ± 4,59	0,341	0,11
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	17,36 ± 0,11	84,70 ± 0,12	$306,54 \pm 4,60$	0,351	0,11
10h - 12h	17,73 ± 0,14	84,79 ± 0,15	308,53 ± 4,62	0,346	0,11
13h - 15h	18,73 ± 0,25	84,68 ± 0,29	308,64 ± 4,63	0,361	0,12
16h - 18h	19,65 ± 0,37	85,46 ± 0,33	$309,33 \pm 4,64$	0,404	0,13

M2 –Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Observa-se que com a C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, os valores de umidade de 84%, sendo 4% acima do limite recomendado pelo manual do fabricante e estar na estação de baixas temperaturas para esta amostra de dados, a fuga de corrente para os todos os períodos estiveram dentro da tolerância de 5%, com uma taxa máxima de 0,18%.

Para a cidade do Rio de Janeiro os resultados obtidos por período, estão na Tabela 44. As incertezas para M2 na Tabela 44 foram inferiores a 0,72%.

Observa-se que com a C1 tratada para umidade e submetida apenas a este ensaio climático, mesmo para valores de umidade que decrescem durante o período simulado, a fuga de corrente para os todos os períodos do ensaio estiveram dentro do limite aceitável de 5%, com uma taxa máxima de 0,57 %.

Tabela 44 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sudeste – Estado Rio de Janeiro – Rio de Janeiro (Forte de Copacabana). Período de captação dos dados: 16/03/18 à 16/03/19 - CI mod. 10x5 – 1800

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	19,2	78,7	25,48 ± 0,43	0,052	0,19
Período simulado	Temperatura média no período (ºC)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)

7h - 9h	$22,83 \pm 0,08$	83,15 ± 0,22	26,13 ± 0,41	0,068	0,26
10h - 12h	$24,40 \pm 0,10$	80,55 ± 0,24	25,94 ± 0,45	0,096	0,37
13h - 15h	26,77 ± 0,11	$74,79 \pm 0,29$	$26,06 \pm 0,40$	0,141	0,54
16h - 18h	26,59 ± 0,10	74,90 ± 0,26	26,18 ± 0,39	0,151	0,57

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

Para C2, todos os valores das simulações registradas estão abaixo da tolerância de 5%, com a maior taxa para o ultimo período simulado de 0,53% como pode ser observado na Tabela 45. As incertezas para M2 na Tabela 45 foram inferiores a 0,09%.

Tabela 45 – Resultados obtidos para a simulação das condições ambientais Brasil – Região Sudeste – Estado Rio de Janeiro – Rio de Janeiro (Forte de Copacabana). Período de captação dos dados: 16/03/18 à 16/03/19 - CI mod. 10x5 – 180

Condição	Temperatura (ºC)	Umidade (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
inicial	19,4	56	302,21 ± 4,53	0,508	0,16
Período simulado	Temperatura média no período (⁰C)	Umidade média no período (%)	M1 (µGy/min)	M2 (µGy/min)	Cv (%)
7h - 9h	$22,83 \pm 0,08$	83,15 ± 0,22	306,28 ± 4,61	0,799	0,26
10h - 12h	$24,40 \pm 0,10$	80,55 ± 0,24	308,16 ± 4,66	1,083	0,35
13h - 15h	26,77 ± 0,11	74,79 ± 0,29	311,55 ± 4,96	1,574	0,51
16h - 18h	26,59 ± 0,10	$74,90 \pm 0,26$	310,88 ± 4,73	1,671	0,53

M1 - Medição com a fonte de controle

M2 – Fuga de corrente

Cv- Coeficiente de variação da fuga de corrente em relação às taxas (%)

Fonte: autor da Dissertação

4.5 Outras aplicações do Sistema de climatização

Para tratar a umidade das CI geralmente utiliza-se o dessecador com uma porção de sílica (Figura 25), mas se a umidade do sistema dosimétrico estiver muito alta, este sistema é ineficiente.

Figura 25 - [1]Dessecador utilizado no LCI – Ipen [2] Conjunto dessecador e sílica



Fonte: autor da dissertação

O sistema de climatização mostrou-se seguro e eficiente para ser utilizado como um forno para tratar a umidade das CI após os ensaios climáticos e na rotina do laboratório, o arranjo pode ser otimizado para essa função a um custo muito inferior em relação a um forno convencional.

Sugere-se tratar as CI por 6 horas a 40 °C (Figura 26), nesta condição observou-se uma redução de 73% nos valores registrados no modo dose acumulada, diminuindo significativamente a fuga de corrente do sistema de detecção.

Figura 26 - Processo de tratamento da umidade da câmara de ionização mod. 10 x 5 - 1800



Fonte: autor da dissertação

5 CONCLUSÕES

O ensaio de calibração e os testes de estabilidade aplicados às câmaras de ionização utilizadas neste trabalho apresentaram valores aceitáveis de acordo com a norma vigente ISO 4037 e norma IEC 61674 respectivamente.

O sistema de climatização de baixo custo desenvolvido e implantado no LCI-IPEN, apresentou boa eficiência nas faixas de umidade no intervalo de 40% a 100% e para simulações partindo da temperatura ambiente até 50 °C.

Na primeira série de medições o comportamento da câmara de ionização para radioproteção modelo Radcal 10 x 5 – 1800 (C1) em ensaios climáticos consecutivos (no mesmo dia) simulando a região norte do Brasil apresentou desempenho insatisfatório para todos os estados ensaiados, o coeficiente de variação entre as taxas de dose acumulada permaneceram acima da tolerância de 5%, a câmara de ionização modelo Radcal 10 x 5 – 180 (C2) apresentou não conformidade apenas para duas condições climáticas, uma no estado do Amapá e outra no estado do Amazonas, nos dois estados na última faixa de horário simulada se mostrou crítica para o funcionamento do instrumento de medição.

Na segunda série de medições, ao melhorar as condições iniciais de funcionamento (acondicionamento adequado e retirar a umidade do instrumento de medição) e realizar apenas um ensaio climático por dia, para a Câmara de ionização modelo $10 \times 5 - 1800$ apenas o estado do Amazonas no quarto período de medição apresentou o coeficiente de variação da fuga em relação as taxas de kerma acumulada pouco acima da tolerância de 5%, todos os outros períodos e estados da região norte simulados apresentaram resultados abaixo da tolerância. Para a câmara de ionização o modelo $10 \times 5 - 1800$ apenas no quarto períodos e estados da região norte simulados apresentaram resultados abaixo da tolerância.

Com esta metodologia foram simuladas as condições climáticas das cinco regiões do território nacional.

Todos os estados simulados apresentaram coeficientes de variação em relação as taxas de kerma acumulada menor que 5%.

6 CONSIDERAÇÕES

Selecionar e utilizar equipamentos de detecção adequados para medição radiométricaem qualquer parte do Brasil é um desafio.Embora a determinação da influência dos fatores ambientais externos não seja uma tarefa fácil, é fundamental para a confiabilidade da medição, para o estabelecimento de sistemas de radioproteçãopara o aprimoramento do controle de qualidade.

O sistema desenvolvido e a metodologia proposta neste trabalho são viáveis e reprodutíveis, possibilitando a simulação deensaios ambientais para os parâmetros de umidade e temperatura e tratamento térmico da umidade de diversos modelos de câmara de ionização.
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Portaria 453, de 02 de junho de 1998. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico Ministério da Saúde, Brasília, DF, Disponível http://www.conter.gov.br/uploads/legislativo/portaria_453.pdf>Acesso em 15 ago 2017
- ROS, R. A. Metodologia de controle de qualidade de equipamentos de raios X (nível diagnóstico) utilizados em calibração de equipamentos. 2000. 107p.Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br> Acesso em: 20 outubro 2017.
- DATASUS. Departamento de informática do Sistema Único de Saúde, Disponível:http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?cnes/cnv/equiposp.def> acesso em 02 junho 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA), Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança,1ed. Brasília2005
- 5. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica*. Rio de Janeiro, CNEN, 2005. (CNEN-NN-3.01).
- COMITÊ DE AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ENSAIO E CALIBRAÇÃO. Requisitos Técnicos para Certificação de Laboratório de Calibração de Instrumentos de Medição para Radiação 10 IZA TE usados em Radioproteção. CASEC, 2011
- VIVOLO, V. Aplicação de metodologia de testes de desempenho para monitores portáteis de radiação. 2000. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CENEN/SP – Disponível em: http://www.teses.usp.br> Acesso em: 11 abril 2017

- 8. EUROPEAN STANDARD. *Medical electrical equipment Dosimeters with ionization chambers and/or semi-conductor detectors as used in X-ray diagnosis imaging*, 2013 (IEC 61674)
- INTERNATIONAL STANDARD. Radiological protection x and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy, 2019 (ISO 4037)
- 10.INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments.: Safety Reports Series, IAEA. Vienna, SRS Nº 16, 2000.
- 11.OKUNO, E. ; YOSHIMURA, E. *Física das radiações*. 1 edição, Ed. Oficina de Textos Brasil, São Paulo, 2010.
- 12. LUCENA, R. F. Implantação de um programa de controle de qualidade em equipamentos de raios X por meio de medidores não invasivos. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CENEN/SP – Disponível em: http://www.teses.usp.br> Acesso em: 18abril 2017
- 13. MAIA, A. F. Padronização de feixes e metodologia dosimétrica em tomografia computadorizada. 2005, 189p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CENEN/SP Disponível em: http://www.teses.usp.br> Acesso em: 16 de fevereiro de 2018.
- 14. LIMA, M. H. Caracterização de uma câmara de ionização de ar-livre em feixes diretos de raios x utilizados em mamografia. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN-CENEN/SP – Disponível em: http://www.teses.usp.br Acesso em: 29 janeiro 2019

- 15. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia*. 3 ed. Rio de janeiro, 2003.
- 16. LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES. Requisitos técnicos para certificação de laboratório de calibração de instrumentos de medição para radiação ionizante usados em radioproteção. Instituto de Radioproteção e Dosimetria/Comissão Nacional de Energia Nuclear. RT-LCI-001/2011. Junho de 2011.
- 17.GONÇALVES, A. A. JR; SOUSA, A. R. *Metrologia Científica e Industrial*. Editora Manole. 2008.
- 18.INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Calibration of Reference dosimeters for External Beam Radiotherapy.IAEA, Austria, 2009 (IAEA Technical Reports Series No. 469).
- 19.ICRP, 1991. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60.
- 20.ICRP, 2007. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103.
- 21.INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Noções Básicas de Proteção Radiológica**. São Paulo: 2002.
- BITELLI, T. Dosimetria e Higiene das Radiações. 1ª Edição. Editora do Grêmio Politécnico. São Paulo. 1982.
- 23. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.*X* and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy; ISO 4037-1, 1996.

- 24. BRIONIZIO, J. D., MAINIER, F. B. Avaliação de temperatura e umidade em uma câmara climática. Congresso e Feira da Qualidade em Metrologia Rede Metrológica do Estado de São Paulo – REMESP (2006), São Paulo, Brasil
- 25.INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_au to_graf> Acesso em: 28/03/2017
- 26. CRUZ, F.N., BORBA. Gol., Abreu, I.R.D., *Ciências da Natureza e Realidade*, 2° Ed. Editora UFRN, 2007 <<u>http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/curso/Geografia</u> <u>PAR EAB/Fasciculos%20-%20Material/ciencia Natureza Realidae/ CI NAT A08</u> <u>GR RAARL 090910.PDF</u>>acesso em 01/04/2019

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000 Fone/Fax(0XX11) 3133-8908 SÃO PAULO – São Paulo – Brasil http://www.ipen.br

O IPEN é uma Autaquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada à Universiade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.