

INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO

THAYS MUNNIKY DA ROCHA MONTANARI

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE LABORATÓRIOS NA
EXECUÇÃO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS**

Curitiba

2021

THAYS MUNNIKY DA ROCHA MONTANARI

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE LABORATÓRIOS NA
EXECUÇÃO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Área de Concentração Sistemas Energéticos Convencionais e Alternativos, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo M. Trindade

Curitiba

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

- M764a Montanari, Thays Munniky da Rocha
Avaliação de desempenho de laboratórios na execução dos ensaios em módulos fotovoltaicos [recurso eletrônico] / Thays Munniky da Rocha Montanari . – Curitiba, 2021.
- Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná. (IEP).
Orientador: Prof. Dr. Eduardo M. Trindade
1. Energia solar. 2. Energia fotovoltaica. 3. IEC 61215 (Norma internacional). I. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. II. Instituto de Engenharia do Paraná. III. Trindade, Eduardo M. IV. Título.
- CDD: 621.47

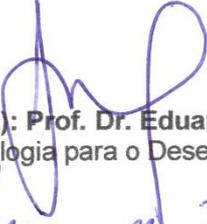
Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585

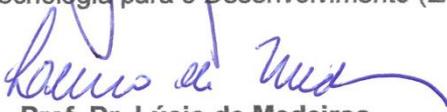
TERMO DE APROVAÇÃO

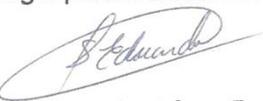
THAYS MUNNIKY DA ROCHA MONTANARI

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE LABORATÓRIOS NA EXECUÇÃO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito para obtenção do grau de Mestre, no Mestrado Profissional do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, realização do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), pela seguinte banca examinadora:


ORIENTADOR (A): Prof. Dr. Eduardo Marques Trindade
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)


Prof. Dr. Lúcio de Medeiros
Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)


Prof. Dr. Eduardo César Dechechi
UNIOESTE

Curitiba, 31 de agosto de 2021.

Dedico esta dissertação à Deus com gratidão,
devo a Ele tudo o que sou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela condução de todos os detalhes em minha vida, por me proporcionar perseverança, saúde, determinação e por permitir que os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho fossem ultrapassados.

Agradeço aos meus pais, Rosângela e Luiz Carlos, pela dedicação à minha vida e todas as conquistas, pelo incentivo, compreensão, paciência e pelo exemplo que suas trajetórias pessoais e profissionais transmitem a mim.

Ao meu grande amigo e companheiro Allan, por sua disponibilidade, parceria e por toda dedicação e gentileza.

Agradeço também ao professor orientador Eduardo Trindade, por todo profissionalismo, competência e dedicação, mesmo com todas as consequências deste cenário atual em virtude da pandemia de COVID19.

Ao Paraná Metrologia, instituição a qual tenho orgulho de contribuir, agradeço pela oportunidade do mestrado, pela confiança e por todo apoio durante o processo.

RESUMO

A utilização de tecnologias renováveis para geração de energia tem recebido uma especial atenção em todo o mundo, como é o caso da energia solar, que tem sido considerada em estudos inovadores com o objetivo de aprimorar os resultados sustentáveis e econômicos da utilização desta fonte de energia. Tais resultados dependem também da qualidade destas tecnologias e de todo o processo responsável por esta garantia. A grande maioria dos produtos consumidos no país, principalmente os que podem ser fontes de risco à saúde ou à segurança da população, são tratados de forma compulsória no quesito avaliação da conformidade. Este processo é regulamentado no Brasil pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, o INMETRO, que por sua vez, delegada para os organismos de avaliação da conformidade a análise do desempenho, aprovação dos critérios e liberação do material. Como parte integrante do processo de garantia da qualidade, a competência das organizações laboratoriais responsáveis pela condução destes ensaios, também deve ser confirmada nesta rede de rastreabilidade e avaliação da qualidade dos resultados, por meio de um monitoramento efetivo, geralmente demonstrados pela acreditação com base nos requisitos normativos da ABNT NBR ISO IEC 17025. Contudo, em algumas áreas pontuais, como é o caso dos ensaios em módulos fotovoltaicos, esta cadeia de responsabilidades apresenta algumas dificuldades específicas, que foram observadas dentro da regulamentação atualmente vigente, além do monitoramento periódico e específico relacionado à validade dos resultados disponibilizados pelos laboratórios. Deste modo, foi proposta a aplicação de análises comparativas nas metodologias utilizadas e nos resultados disponibilizados, por meio de uma comparação interlaboratorial, realizada seguindo os critérios estabelecidos pela norma técnica ABNT NBR ISO IEC 17043, de forma a validar ou questionar a compatibilidade e homogeneidade dos laboratórios atualmente designados, que não possuem a formalização da acreditação junto ao INMETRO. Além de uma análise teórica destinada a avaliar os detalhes da utilização e descrição eficaz da regulamentação disponibilizada atualmente, com relação aos ensaios de qualificação e etiquetagem dos módulos fotovoltaicos disponibilizados em território nacional. O acompanhamento dos ensaios específicos e metodologias aplicadas para cada um deles, foi realizado considerando duas instituições em situações distintas, justamente para identificar possíveis variações relacionadas à interpretação de cada instituição. A aplicação da comparação interlaboratorial, realizada utilizando outras duas instituições distintas com uma única amostra em comum, indicou que para estes laboratórios, há compatibilidade entre todos os resultados emitidos para os ensaios realizados no módulo fotovoltaico. Apesar de serem evidenciadas, durante o acompanhamento remoto, variações pontuais entre os métodos utilizados pelos laboratórios e inclusive na regulamentação aplicável. Fato que demonstra que o monitoramento regular e efetivo, com embasamento normativo e estatístico de forma a comparar o desempenho dos envolvidos, se faz necessário para manter o monitoramento eficaz à confiabilidade dos resultados emitidos.

Palavras-chave: Ensaios de qualificação. IEC 61215. Portaria 004/2011. Análise Comparativa. Comparação Interlaboratorial. Módulo Fotovoltaico. Energia Fotovoltaica.

ABSTRACT

The use of renewable technologies for energy generation has received special attention worldwide, as is the case of solar energy, which has been considered in innovative studies with the aim of improving sustainable results and economy of its use. power supply. Such results also depend on the quality of these technologies and the entire process responsible for this guarantee. Most products consumed in the country, especially those that can be sources of risk to the health or safety of the population, are treated in an obligatory manner in terms of conformity assessment. This process is regulated in Brazil by the National Institute of Metrology, Quality and Technology, INMETRO, which in turn delegates performance analysis, approval of criteria and material release to compliance assessment bodies. As an integral part of the quality assurance process, the competence of the laboratory associations responsible for conducting these tests must also be confirmed in this traceability network and monitoring the quality of results, through effective monitoring, usually demonstrated by the accreditation based on the effective normative requirements of ISO IEC 17025. However, in some specific areas, such as the tests on photovoltaic modules, this chain of responsibilities presents some specific difficulties, which were observed within the current regulations, in addition to periodic and specific monitoring related to the validity of the results made available by the laboratories. Thus, it was proposed to apply comparative analyzes in the methodologies used and, in the results, made available, through an interlaboratory comparison, carried out following the criteria established by the technical standard ABNT NBR ISO IEC 17043, to validate or question the compatibility and homogeneity of the laboratories currently designated, which do not have formal accreditation with INMETRO. In addition to a theoretical analysis aimed at evaluating the details of the use and effective description of the regulations currently available, in relation to the qualification tests and labeling of photovoltaic modules made available in the national territory. The monitoring of specific tests and methodologies applied to each of them was carried out considering two institutions in different situations, precisely to identify possible variations related to the interpretation of each institution. The application of interlaboratory comparison, carried out using two other different institutions with a single sample in common, indicated that for these laboratories, there is compatibility between all the results issued for the tests carried out in the photovoltaic module. Despite the evidence, during remote monitoring, specific variations between the methods used by the laboratories and even in the applicable regulations. This fact demonstrates that regular and effective monitoring, with a normative and statistical basis to compare the performance of those involved, is necessary to maintain effective monitoring and the reliability of the results issued.

Keywords: Qualification essays. IEC 61215. Ordinance 004/2011. Comparative Analysis. Interlaboratory Comparison. Photovoltaic Module. Photovoltaic Energy.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| FIGURA 1 – | PARTICIPAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA OFERTA INTERNA DE ENERGIA (MATRIZ ENERGÉTICA), EM ORDEM DE MAGNITUDE. | 23 |
| FIGURA 2 – | ATUAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA GERAÇÃO ELÉTRICA 2019/2020, COM DESTAQUE PARA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. | 23 |
| FIGURA 3 – | PARTICIPAÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS FONTES NÃO RENOVÁVEIS NA MATRIZ ELÉTRICA E NA MATRIZ ENERGÉTICA EM 2019/2020. | 24 |
| FIGURA 4 – | EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DA FONTE SOLAR NAS MICRO E MINIGERAÇÕES DISTRIBUÍDAS..... | 25 |
| FIGURA 5 – | DEMONSTRAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA OFF-GRID. | 27 |
| FIGURA 6 – | DEMONSTRAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ON-GRID..... | 28 |
| FIGURA 7 – | COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE REPROVAÇÃO DOS MÓDULOS AVALIADOS ANTES E DEPOIS DA CRIAÇÃO DO BLOCO V EM 1981..... | 30 |
| FIGURA 8 – | PANORAMA MUNDIAL E EVOLUÇÃO DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM MÓDULOS FOTOVOLTÁICOS. | 31 |
| FIGURA 9 – | EVOLUÇÃO DAS REGULAMENTAÇÕES E ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM MÓDULOS FOTOVOLTÁICOS NO BRASIL. | 34 |
| FIGURA 10 – | MAPA DO BRASIL COM A LOCALIZAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DESIGNADOS PARA ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTÁICOS, DESTACANDO O ÚNICO LABORATÓRIO ACREDITADO NO PAÍS. | 35 |
| FIGURA 11 – | APLICAÇÃO GERAL DA NORMA IEC 61215:2021 E TODAS AS SUAS PARTES. | 40 |
| FIGURA 12 – | APRESENTAÇÃO DAS PRINCIPAIS MUDANÇAS REALIZADAS NA VERSÃO ATUALIZADA (2021) DA NORMA IEC 61215..... | 41 |
| FIGURA 13 – | DATASHEET COM AS INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO MÓDULO UTILIZADO | 44 |
| FIGURA 14 – | FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS PROPOSTAS PARA O ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS PREVISTOS NA REGULAMENTAÇÃO..... | 45 |

| | | |
|-------------|--|----|
| FIGURA 15 – | FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS PROPOSTAS PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL..... | 46 |
| FIGURA 16 – | FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS PROPOSTAS PARA A COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL EM ENSAIOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. | 47 |
| FIGURA 17 – | FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS EFETUADAS PARA O ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. | 51 |
| FIGURA 18 – | FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS EFETUADAS PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL..... | 61 |
| FIGURA 19 – | FLUXOGRAMA COM A RELAÇÃO DOS ENSAIO DE QUALIFICAÇÃO PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS, ESTABELECIDOS PELA PORTARIA 396 DO ANO DE 2008..... | 64 |
| FIGURA 20 – | FLUXOGRAMA COM A RELAÇÃO DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS, ESTABELECIDOS PELA PORTARIA 004 DO ANO DE 2011..... | 66 |
| FIGURA 21 – | FLUXOGRAMA COM A RELAÇÃO DOS ENSAIOS DE DESEMPENHO PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS, DISPONÍVEIS NO DOCUMENTO DE CONSULTA PÚBLICA NÚMERO16 DE 2021 | 71 |
| FIGURA 22 – | FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS EFETUADAS PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL..... | 75 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 1- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE CORRENTE EM CURTO-CIRCUITO (ISC) – UNIDADE DE MEDIDA (A). | 79 |
| GRÁFICO 2- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE TENSÃO EM CIRCUITO ABERTO – UNIDADE DE MEDIDA (V). | 80 |
| GRÁFICO 3- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE CORRENTE EM MÁXIMA POTÊNCIA (IMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (A). | 81 |
| GRÁFICO 4- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (V) | 82 |
| GRÁFICO 5- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE POTÊNCIA MÁXIMA (PMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (W)..... | 83 |
| GRÁFICO 6- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO PERCENTUAL (%) DE FATOR DE FORMA (FF).84 | |
| GRÁFICO 7- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO PERCENTUAL (%) DE EFICIÊNCIA DO MÓDULO (η)..... | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 – JPL BLOCK BUY COM OS TESTES DE QUALIFICAÇÃO IDEAIS PARA MÓDULOS. | 29 |
| TABELA 2 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS INICIAIS (2 AMOSTRAS). | 68 |
| TABELA 3 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS ESPECÍFICOS (1ª AMOSTRA) | 69 |
| TABELA 4 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS ESPECÍFICOS (2ª AMOSTRA) | 70 |
| TABELA 5 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS FINAIS (2 AMOSTRAS)..... | 70 |
| TABELA 6 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – CORRENTE EM CURTO-CIRCUITO (ISC) – UNIDADE DE MEDIDA (A)..... | 78 |
| TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – TENSÃO EM CIRCUITO ABERTO (VOC) – UNIDADE DE MEDIDA (V). | 79 |
| TABELA 8 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – CORRENTE EM MÁXIMA POTÊNCIA (IMPP)– UNIDADE DE MEDIDA (A)..... | 80 |
| TABELA 9 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (V)..... | 81 |
| TABELA 10 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – POTÊNCIA DE MÁXIMA (PMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (W)..... | 82 |
| TABELA 11 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO DE FATOR DE FORMA (FF) – UNIDADE DE MEDIDA (%)..... | 83 |
| TABELA 12 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO DE EFICIÊNCIA DO MÓDULO – UNIDADE DE MEDIDA (%)..... | 84 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-------------------|---|
| ABSOLAR | - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica |
| ANEEL | - Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ABNT | - Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CEPEL | - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica |
| CGCRE | - Coordenação Geral da Acreditação do Inmetro |
| CPQD | - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações |
| BEN | - Balanço Energético Nacional |
| DICLA | - Divisão de Credenciamento de Laboratórios e de Provedores de Ensaios de Proficiência. |
| DME | - Departamento de Materiais, Eficiência Energética e Geração Complementar |
| EN | Erro normalizado |
| ENCE | - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia |
| EPE | - Empresa de Pesquisa Energética |
| FF | - Fator de Forma / Preenchimento |
| GEDAE | - Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas |
| GREEN / PUC Minas | - Grupo de Estudo em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais |
| GT-FOT | - Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos |
| IAF | - International Accreditation Forum |
| IEE | - Instituto de Energia e Ambiente |
| IEC | - International Electrotechnical Commission |
| INMETRO | - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| IMPP | - Corrente em Máxima Potência |
| ISC | - Corrente em Curto-Circuito |
| ISO | - International Organization for Standardization |
| JCGM | - Comitê Conjunto para Guias em Metrologia |
| JPL | - Jet Propulsion Laboratory |
| LAT | - Laboratório de Análise Térmica |

| | |
|--------------|--|
| LABSOL | - Laboratório de Energia Solar |
| LABSOLAR | - Laboratório de Certificação de Componentes de Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica |
| LESF | - Laboratório de Energia e Sistemas Fotovoltaicos |
| LASE | - Laboratório de Sistemas de Energia |
| NASA | - National Aeronautics and Space Administration |
| NBR | - Norma Técnica Brasileira |
| NMOT | - Nominal Module Operating Test |
| MDIC | Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior |
| MTRC | - Module Test and Reliability Center |
| MQT | - Module Quality Test |
| OMC | - Organização Mundial do Comércio |
| PET | - Planilha de Especificação Técnica |
| PBE | - Programa Brasileiro de Etiquetagem |
| PMPP | - Potência Máxima fornecida pelo Módulo Fotovoltaico. |
| PROCEL | - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| RGDF Produto | - Requisitos Gerais para Declaração da Conformidade do Fornecedor de Produtos |
| SI | - Sistema Internacional de Unidades |
| STC | - Standard Test Conditions |
| TCE | - Termo de Compromisso de Etiquetagem |
| UFRGS | - Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| USP | - Universidade de São Paulo |
| UFPA | - Universidade Federal do Pará |
| UFPB | - Universidade Federal da Paraíba |
| UFBA | - Universidade Federal da Bahia |
| UNICAMP | - Universidade Estadual de Campinas |
| VIM | - Vocabulário Internacional de Metrologia |
| VMPP | - Tensão de Máxima Potência |
| VOC | - Tensão em Circuito Aberto |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | CONTEXTO..... | 15 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 19 |
| 1.2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 19 |
| 1.2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 19 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA..... | 19 |
| 1.4 | ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA | 21 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 22 |
| 2.1 | FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA | 22 |
| 2.2 | EFEITO FOTOVOLTAICO..... | 25 |
| 2.3 | SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA. | 26 |
| 2.3.1 | SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ISOLADOS (OFF-GRID) | 26 |
| 2.3.2 | SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADOS À REDE (ON-GRID)..... | 27 |
| 2.4 | PANORAMA MUNDIAL DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA..... | 28 |
| 2.5 | PANORAMA DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NO BRASIL. | 32 |
| 2.6 | CONFIABILIDADE E QUALIDADE DOS TESTES DE QUALIFICAÇÃO DISPONÍVEIS PARA OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. | 35 |
| 2.7 | AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE | 37 |
| 3 | ESTADO DA ARTE / REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 39 |
| 3.1 | ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 39 |
| 3.2 | ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NO BRASIL. | 42 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 43 |
| 4.1 | MATERIAIS | 43 |
| 4.1.1 | MATERIAS UTILIZADOS PARA A COMPARAÇÃO ENTRE OS LABORATÓRIOS. | 43 |
| 4.2 | MÉTODOS | 44 |
| 4.2.1 | MÉTODO PROPOSTO PARA O ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS PREVISTOS NA REGULAMENTAÇÃO: | 44 |
| 4.2.2 | MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL. | 45 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.3 | MÉTODO PROPOSTO PARA A COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL EM ENSAIOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. | 46 |
| 4.2.3.1 | ANÁLISE ESTATÍSTICA UTILIZADA..... | 48 |
| 4.2.3.1.1 | CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO COMPARATIVA..... | 48 |
| 4.2.3.1.2 | ANÁLISE DE DADOS E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS | 49 |
| 5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO | 50 |
| 5.1 | ACOMPANHAMENTO REMOTO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS | 50 |
| 5.1.1 | ACOMPANHAMENTO REMOTO DA METODOLOGIA UTILIZADA PELO LABORATÓRIO A..... | 52 |
| 5.1.1.1 | TRATAMENTO PRÉVIO DA AMOSTRA | 52 |
| 5.1.1.2 | INSPEÇÃO VISUAL DA AMOSTRA | 52 |
| 5.1.1.3 | DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA DA AMOSTRA..... | 52 |
| 5.1.1.4 | ISOLAMENTO ELÉTRICO DA AMOSTRA | 53 |
| 5.1.1.5 | RESISTÊNCIA AO ISOLAMENTO ELÉTRICO EM CONDIÇÕES DE UMIDADE..... | 53 |
| 5.1.2 | ACOMPANHAMENTO REMOTO DA METODOLOGIA UTILIZADA PELO LABORATÓRIO B..... | 53 |
| 5.1.2.1 | TRATAMENTO PRÉVIO DAS AMOSTRAS..... | 53 |
| 5.1.2.2 | INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS | 54 |
| 5.1.2.3 | DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA DAS AMOSTRAS | 54 |
| 5.1.2.4 | ISOLAMENTO ELÉTRICO DAS AMOSTRAS | 54 |
| 5.1.2.5 | RESISTÊNCIA AO ISOLAMENTO ELÉTRICO EM CONDIÇÕES DE UMIDADE..... | 55 |
| 5.1.3 | RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DO ACOMPANHAMENTO REMOTO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. | 55 |
| 5.1.3.1 | INSPEÇÃO VISUAL COM A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO CALIBRADO x NÃO CALIBRADO. | 55 |
| 5.1.3.2 | INSPEÇÃO VISUAL UTILIZANDO FONTES DE LUZ NATURAL X ARTIFICIAL..... | 57 |
| 5.1.3.3 | CLIMATIZAÇÃO DA AMOSTRA COMO PRÉ-REQUISITO DA DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA | 58 |
| 5.1.3.4 | SOLUÇÃO PARA IMERSÃO DA AMOSTRA NA AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ELÉTRICO EM CONDIÇÕES DE UMIDADE, CONSIDERANDO A TENSÃO SUPERFICIAL PADRÃO | 58 |
| 5.2 | ANÁLISE TEÓRICA COMPARATIVA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS | 59 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.2.1 | PORTARIA 396 DE 2008, REGULAMENTO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA..... | 62 |
| 5.2.2 | PORTARIA 004 DE 2011, REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA..... | 65 |
| 5.2.3 | CONSULTA PÚBLICA NÚMERO 16 DE 2021, PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DOS REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA EQUIPAMENTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA. | 67 |
| 5.2.4 | RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DA ANÁLISE TEÓRICA COMPARATIVA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS | 72 |
| 5.2.4.1 | NÚMERO E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS UTILIZADAS | 72 |
| 5.2.4.2 | APLICAÇÃO DOS ENSAIOS ESPECÍFICOS | 72 |
| 5.3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS DA AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA E COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL | 74 |
| 5.3.1 | ANÁLISE DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO | 76 |
| 6 | CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS | 86 |
| 6.1 | TRABALHOS FUTUROS..... | 87 |
| | REFERÊNCIAS | 89 |

1 INTRODUÇÃO

A utilização de energias renováveis em todo o mundo é um tema sempre em discussão nas mais diversas áreas sociais e tecnológicas, principalmente devido ao crescimento populacional e ao impacto ambiental que a geração de recursos sociais básicos vem ocasionando, para suprimento desta sempre crescente demanda.

A geração de energia elétrica e a avaliação dos impactos ambientais diretamente ou indiretamente relacionados são temas de estudos e pesquisas atuais, como exemplos, “A gestão de resíduos sólidos urbanos e geração de energia elétrica”, publicado na Revista Científica Multidisciplinar ISSN, 2021 (SOUZA RIBEIRO; BORGES,2021) e, “A geração de energia elétrica a partir do lixo residencial produzido”, publicado na Brazilian Applied Science Review, 2020 (FERNANDES,2020).

Neste contexto, à medida que estes efeitos e impactos vêm sendo analisados, várias soluções sustentáveis são apresentadas aos consumidores, sempre visando garantir o desenvolvimento econômico e social, minimizando os impactos ambientais diretamente envolvidos.

Dentre as energias renováveis mais atualmente utilizadas, e com índices de desempenho cada vez melhores, está a energia solar fotovoltaica. É uma energia de uma fonte alternativa de geração, e que não provoca impactos ambientais. Todos os dias o planeta recebe uma imensa quantidade de energia solar. O ser humano como ser pensante, crítico e que está preocupado com o meio ambiente, criou, ao longo de estudos e aplicação de técnicas, uma forma de aproveitamento dessa riqueza. A partir disso, surge o sistema físico fotovoltaico, ou seja, as placas solares conhecidas hoje em dia (GEBERT; MULLER; CASAGRANDE, 2017).

Todo consumidor busca, dentre as possibilidades do mercado, aquela que oferece e atende de forma mais eficaz uma necessidade específica, além de priorizar o critério de segurança. Assim, é indispensável quando se diz respeito à equipamentos e materiais elétricos, que sejam realizadas avaliações e controles, por meio de ensaios peculiares, com o intuito de garantir a segurança e integridade destes consumidores, como também, assegurar a qualidade e o desempenho pretendido para aquele bem que foi adquirido. Estes ensaios de qualificação são atualmente realizados por organismos de avaliação da conformidade, que são laboratórios que devem levar em consideração todos os critérios regulamentados disponibilizados durante a realização dos ensaios específicos.

Em um enfoque progressivo, as práticas de avaliação da conformidade não devem ser tratadas somente como obstáculos tecnológicos a serem superados, mas, também, como um mecanismo de melhoria qualitativa e quantitativa do comércio interno de um país, inserindo-o de forma eficiente e estruturada, em uma nova ordem econômica mundial (MACHADO,2003).

Dada esta importância da garantia da qualidade e do desempenho dos equipamentos utilizados, a competência e confiabilidade das organizações

laboratoriais, responsáveis pela condução destes ensaios, também devem ser confirmadas.

Para as empresas, a avaliação da conformidade induz à busca contínua da melhoria da qualidade. As que se engajam neste movimento orientam-se para assegurar a qualidade dos seus produtos, processos ou serviços, beneficiando-se com a melhoria da produtividade e aumento da competitividade, e tornando a concorrência mais justa, na medida em que indica, claramente, os mesmos produtos, processos ou serviços que atendem aos requisitos especificados (MACHADO,2003).

Tendo em vista a necessidade de reconhecimento da confiabilidade e competência dos organismos de avaliação da conformidade, a legitimidade desta eficiência é comprovada por um monitoramento efetivo periódico e comparativo entre os organismos de avaliação da conformidade.

A acreditação realizada pela Coordenação Geral de Acreditação (Cgcre) é de caráter voluntário e representa o reconhecimento formal da competência de um Organismo de Avaliação da Conformidade (OAC) para desenvolver suas atividades de acordo com requisitos preestabelecidos (INMETRO,2020).

Contudo, em algumas áreas pontuais, esta cadeia de responsabilidades e pautas diretamente relacionadas apresentam algumas lacunas e dificuldades específicas por várias razões, dentre elas está a utilização de tecnologias recentes. Neste caso, especificamente para os módulos fotovoltaicos utilizados no sistema geração de energia solar, este enredo de análises e monitoramentos, cujo objetivo principal é a garantia da qualidade e confirmação do desempenho do equipamento, possui lacunas que foram observadas dentro da regulamentação atualmente vigente, além do monitoramento periódico e específico que garante a competência e a validade dos resultados disponibilizados pelos laboratórios de ensaios atuantes neste escopo.

Considerando tais fatos, uma aplicação de análises comparativas nas metodologias utilizadas e nos resultados disponibilizados aos consumidores foi proposta neste trabalho, de forma a validar a compatibilidade dos laboratórios designados (não acreditados), bem como a utilização e descrição da regulamentação, com relação a confiabilidade de módulos fotovoltaicos disponibilizados em território nacional.

1.1 CONTEXTO

Vários países investem nas aplicações da energia solar, analisando desde as características do fluxo de radiação solar que chega à terra até a tecnologia necessária para viabilizar, em termos técnicos e econômicos, o máximo aproveitamento dessa energia (NASCIMENTO, 2004).

Um sistema fotovoltaico é composto por quatro componentes: os painéis solares, os controladores de carga, os inversores e as baterias. Cada componente exerce uma função de acordo com o tipo de instalação do sistema (BOSO; GABRIEL,2015).

Os módulos fotovoltaicos são formados pelo encadeamento de células fotovoltaicas fabricadas com materiais semicondutores, para o alcance da tensão e corrente requeridas pelo objetivo proposto de cada instalação.

Os controladores de carga e descarga de energia são os responsáveis pelo gerenciamento de carga e por impedir a sobrecarga ou descarga total das baterias utilizadas no sistema de energia fotovoltaica.

Os inversores utilizados neste sistema são divididos em dois grupos: os inversores autônomos, também conhecidos por *off-grid*, que são os responsáveis pela conversão da corrente contínua gerada em corrente alternada para utilização da energia elétrica em equipamentos consumidores, e os inversores conectados à rede, os chamados *on-grid*, que são fabricados para, de uma forma automatizada, interagirem como uma unidade de controle do sistema fotovoltaico, sincronizando os mesmos, permanentemente à rede pública de eletricidade. Desta forma, não é possível utilizá-lo em um sistema *off-grid*, pois este sistema não cumpre com o objetivo de alimentar diretamente os equipamentos consumidores. As baterias utilizadas no sistema fotovoltaico são encarregadas do armazenamento da energia gerada pelos módulos fotovoltaicos.

Todos estes equipamentos utilizados para formação do sistema de conversão de energia solar em eletricidade devem ser criticamente monitorados e avaliados, com o propósito de garantir segurança e integridade dos consumidores, como também, assegurar a qualidade e o desempenho anunciado dos itens durante toda a sua vida útil. Especificamente, no que diz respeito ao foco desta pesquisa, a avaliação da conformidade dos equipamentos de geração de energia fotovoltaica, como inversores, controladores e baterias, poderão ser mencionados brevemente, para contextualização ou explicação do tema. Contudo, a demonstração de dados e estudos aplicados são específicas para os módulos fotovoltaicos.

Considerando a importância da garantia da qualidade e desempenho destes e de outros equipamentos, o INMETRO, por meio do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), concede dados e informações no que se refere ao desempenho dos produtos, atestando propriedades e peculiaridades como a eficiência energética e outros parâmetros que podem suggestionar a escolha dos consumidores que, assim, poderão tomar decisões de compra mais conscientes. A competitividade da indústria também é afetada por este programa, de forma a despertar a fabricação ou importação de produtos de qualidade e cada vez mais eficientes.

O cadastro dos produtos no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) ocorre por meio de uma classificação, onde se demonstra, por exemplo, um produto mais eficiente (classe A) como tendo um menor impacto ambiental e menor custo de funcionamento. Este cadastro e classificação ocorrem, de forma geral, com a realização de ensaios laboratoriais, onde são efetuados testes representativos, baseados na normalização específica vigente, responsável por prover critérios técnicos inerentes ao desempenho, qualidade, confiança, segurança, entre outras especificações.

A aptidão destes ensaios é indispensável e fundamental em todos os sentidos, uma vez que a execução tem potencial de dificultar a oferta e concessão de equipamentos defeituosos, não estáveis, não homogêneos e que eventualmente podem proporcionar danos à segurança dos equipamentos e de seus usuários.

Em 2002, antes mesmo da criação das normas utilizadas atualmente, foi desenvolvida uma metodologia específica para determinação de curvas características de módulos fotovoltaicos, onde foram estudadas as grandezas necessárias e a instrumentação adequada para montagem de um sistema apto à caracterização de módulos fotovoltaicos no Rio Grande do Sul, pelo laboratório de Energia Solar da UFRGS. (Adaptado de PRIEB,2002).

Com o sistema desenvolvido, foi levantada a curva I-V (corrente X tensão) de um módulo padrão calibrado no Instituto de Energías Renovables do Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales de Madrid, Espanha, e comparados aos resultados, os quais mostraram ótima concordância (PRIEB,2002).

Embora a caracterização completa envolva tanto ensaios elétricos como mecânicos, é a partir da análise de sua curva (I-V) que são obtidos os principais fatores que definem o comportamento elétrico de um módulo fotovoltaico. Fatores externos, tais como não uniformidade da radiação incidente em simuladores solares, incerteza na determinação da intensidade da radiação e seu espectro, instrumentos de medidas elétricas descalibrados ou inadequados, só para citar alguns exemplos, são fontes potenciais de erro que podem refletir-se na distorção da curva característica do módulo e, por extensão, da medida de sua potência máxima (PRIEB,2002).

Atualmente, os ensaios nestes instrumentos são realizados por laboratórios de ensaios que devem considerar critérios normativos predeterminados para a execução adequada e eficiente destes testes. A Portaria 004/2011 do INMETRO (INMETRO/MDIC, 2011), estabelece diretrizes e critérios para a demonstração de que as expectativas expressas pela comercialização dos equipamentos que formam o sistema fotovoltaico sejam fielmente atendidas, mencionando normas como por exemplo: IEC 61215, IEC 61646, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150 e ABNT NBR IEC 62116. Contudo, a atual regulamentação (portaria 004 de janeiro de 2011) remete e cita critérios normativos que não se encontram atualmente nas normas internacionais IEC, que são mencionadas devido à modificação da estrutura e em alguns parâmetros técnicos, nos anos de 2016 e mais recentemente em fevereiro de 2021, o que dificulta e gera uma série de discussões relacionadas a confiabilidade da regulamentação no seu campo de aplicação.

Considerando a aplicação laboratorial, além dos critérios pré-definidos pela regulamentação específica de cada área quando se diz respeito à competência laboratorial, são aplicáveis os critérios descritos na norma ABNT NBR ISO IEC 17025, que determina os requisitos gerais para a competência, imparcialidade e operação consistente de laboratórios.

Os requisitos gerais desta norma, para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, foram desenvolvidos com o objetivo de promover a confiança na

operação de laboratórios, de forma a permitir que estas instituições declarem que trabalham com competência e que estão aptas a conceber resultados válidos, além de atestar que as organizações que estejam em conformidade com este documento, também atendem de forma geral, em conformidade com os princípios da ABNT NBR ISO 9001, Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos.

Um dos requisitos obrigatórios disponíveis para garantir a competência dos laboratórios de ensaios ou calibrações é a garantia da validade dos resultados, onde os dados obtidos devem ser registrados e as tendências são identificadas, por meio de um monitoramento planejado, utilizando técnicas estatísticas, e quando aplicáveis, a participação em atividades de ensaios de proficiência.

O ensaio de proficiência é uma ferramenta que permite uma avaliação de desempenho do participante contra critérios preestabelecidos por meio de comparações interlaboratoriais. Estas comparações são indispensáveis, pois podem demonstrar erros ou tendências, antes não observadas, ou em contrapartida, demonstrar desempenhos satisfatórios e de acordo com os critérios predeterminados.

Contudo, a realidade nacional para disponibilização destes ensaios de desempenho especificamente para módulos fotovoltaicos conta apenas com um organismo de avaliação da conformidade acreditado, ou seja, que obrigatoriamente deve cumprir os requisitos normativos da ABNT NBR ISO IEC 17025, além de requisitos regulamentados pela Coordenação Geral da Acreditação do INMETRO (CGCRE). As demais organizações são designadas e autorizadas pelo INMETRO a fim de sanar a demanda destes ensaios no país.

Desta forma, apesar da análise realizada para a designação das instituições atuantes, as metodologias de controle e monitoramento das práticas realizadas e da competência do desempenho dos laboratórios, ficam comprometidas com relação às metodologias de confirmação de competência atestadas pela acreditação laboratorial, devido ao cumprimento dos requisitos da ABNT NBR ISO IEC 17025. Este fato pode ser parcialmente solucionado com a aplicação periódica de mecanismos de garantia da validade dos resultados, como as comparações interlaboratoriais, por exemplo, que podem demonstrar a compatibilidade entre as instituições, apesar da falta de acreditação. Também podem identificar tendências a longo prazo, ou até mesmo comprovar a incompatibilidade entre os resultados e/ou métodos, servindo como ferramenta para controle e reavaliações internas específicas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar e comparar os resultados de avaliação da conformidade e desempenho de módulos fotovoltaicos entre laboratórios que atuam neste escopo, de forma a validar a legislação vigente que regulamenta estes ensaios.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho traz os seguintes objetivos específicos:

- Comparar, por acompanhamento remoto dos ensaios, as metodologias de organismos de avaliação da conformidade em módulos fotovoltaicos;
- Analisar, de forma crítica, as metodologias dos laboratórios com relação a legislação vigente;
- Avaliar estatisticamente os resultados de laboratórios diferentes para uma mesma amostra;
- Analisar com base na avaliação de desempenho dos laboratórios a compatibilidade entre as metodologias utilizadas;
- Analisar criticamente de forma comparativa a regulamentação anterior, vigente e sua proposta de atualização.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em razão da importância da prerrogativa da qualidade e do desempenho dos equipamentos utilizados no sistema de geração de energia fotovoltaica, a competência e credibilidade dos organismos de avaliação da conformidade, encarregados pela administração e gestão destes ensaios, conjuntamente devem ser atestadas. Tal autenticidade é comprovada por intermédio de um monitoramento constante adequado entre os organismos de avaliação da conformidade.

No entanto, em determinadas áreas, como é o caso do escopo de ensaios em módulos fotovoltaicos utilizados no sistema de geração de energia solar, esta sequência de responsabilidades e diretamente relacionadas, apresentam-se imprecisões e/ou dificuldades específicas, observadas dentro da regulamentação atualmente vigente, bem como no monitoramento periódico e específico que garante a competência e a legitimidade dos resultados disponibilizados pelos laboratórios de ensaios atuantes neste escopo.

Tendo em consideração estas conjunturas, foi proposta de forma a validar a compatibilidade dos laboratórios, tal qual a utilização e descrição da regulamentação que visa a confiabilidade de módulos fotovoltaicos disponibilizados no país, a realização de análises estatísticas comparativas nas metodologias utilizadas e nos

resultados disponibilizados no mercado, comumente conhecidas como comparações interlaboratoriais / ensaios de proficiência.

Estas comparações interlaboratoriais são mecanismos de garantia da validade dos resultados emitidos pelos laboratórios. Autores como Pizzolato, Caten e Jornada (2008), destacam que um resultado satisfatório em ensaios de proficiência (na área de calibração e de ensaios) é tão relevante quanto à acreditação ou reconhecimento de um laboratório, pois atesta a sua competência técnica (ALBANO,2016).

Desta forma, além de alcançar o objetivo principal deste projeto, será possível atingir outros benefícios advindos desta participação. Nesta conjuntura, destacam-se os seguintes proveitos:

- A disposição de uma avaliação externa regular e independente da qualidade de seus resultados;
- A possibilidade de comparação de desempenho, com outros laboratórios semelhantes;
- A possibilidade de implementação de ações preventivas para melhoria dos processos laboratoriais, com base nos dados obtidos; e
- Os métodos analíticos podem ser avaliados e validados, quando com desempenho satisfatório.

Além disso, a participação dos laboratórios em atividades de ensaios de proficiência é uma indicação da competência do laboratório para realizar determinados ensaios ou calibrações, sendo, portanto, parte integrante e obrigatória do processo de avaliação e acreditação do laboratório pela Coordenação Geral da Acreditação do INMETRO (Cgcre) (NIT-DICLA-026. 2019).

Nesta comparação proposta, os laboratórios participantes que realizam os ensaios normativos, em módulos fotovoltaicos, terão seus desempenhos avaliados estatisticamente, por meio da utilização dos critérios estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17043.

Estas análises, tanto a comparação Interlaboratorial recomendada, quanto a análise crítica da regulamentação poderão concluir se há harmonização suficiente entre as entidades atuantes na área, bem como em relação à regulamentação vigente proposta, de tal forma que os resultados sejam completamente compatíveis e suficientes para garantir a segurança do consumidor com um processo de etiquetagem e regulamentação seguro e confiável. Contudo, existe a possibilidade da conclusão, de que existem diferenças significativas entre os resultados apresentados, e essas, podem ser resultantes tanto da regulamentação atual, quanto da falta de critérios de avaliação e monitoramento dos laboratórios.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Neste primeiro capítulo, além da introdução contextual que justifica e objetiva o desenvolvimento desta pesquisa, visa-se demonstrar a estrutura das demais etapas deste trabalho.

O capítulo dois demonstra argumentos específicos relacionados à geração e distribuição de energia solar e os tipos de sistemas aplicados, ensaios de qualificação aplicados no mundo, avaliação da conformidade e regulamentação nacional dos ensaios aplicados em módulos fotovoltaicos e conteúdos relacionados a importância da normalização e padronização.

O capítulo três apresenta uma descrição dos ensaios de qualificação no Brasil e no mundo, de forma a demonstrar a aplicação atual destes testes e os estudos relacionados com aplicações mais recentes.

O capítulo quatro considera e apresenta os métodos utilizados para cada etapa de análise, considerando desde a comparação estatística dos laboratórios até a avaliação teórica e remota de acompanhamento e análise da regulamentação aplicada no país. Além de descrever os materiais utilizados durante a pesquisa completa.

O capítulo cinco expõe a análise dos resultados obtidos por meio da comparação técnica das metodologias utilizadas pelos laboratórios, análise dos resultados obtidos com a comparação estatística interlaboratorial, bem como os resultados e discussões relacionados à análise teórica da regulamentação revogada até a proposta de correção proposta em 2021, mais ainda não aprovada.

Finalmente no capítulo 6 está declarada a conclusão com sugestões e propostas de trabalhos futuros na mesma área de atuação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta alguns argumentos e trabalhos técnicos científicos de autores que tem como eixo de pesquisa as pautas essencialmente voltadas à geração e distribuição de energia solar, aos ensaios de avaliação de desempenho normalizadas, à avaliação da conformidade e à regulamentação nacional do sistema fotovoltaico, além de conteúdos relacionados com a importância da normalização e com a padronização de serviços essenciais à saúde, à segurança e ao desenvolvimento econômico e ambiental.

2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

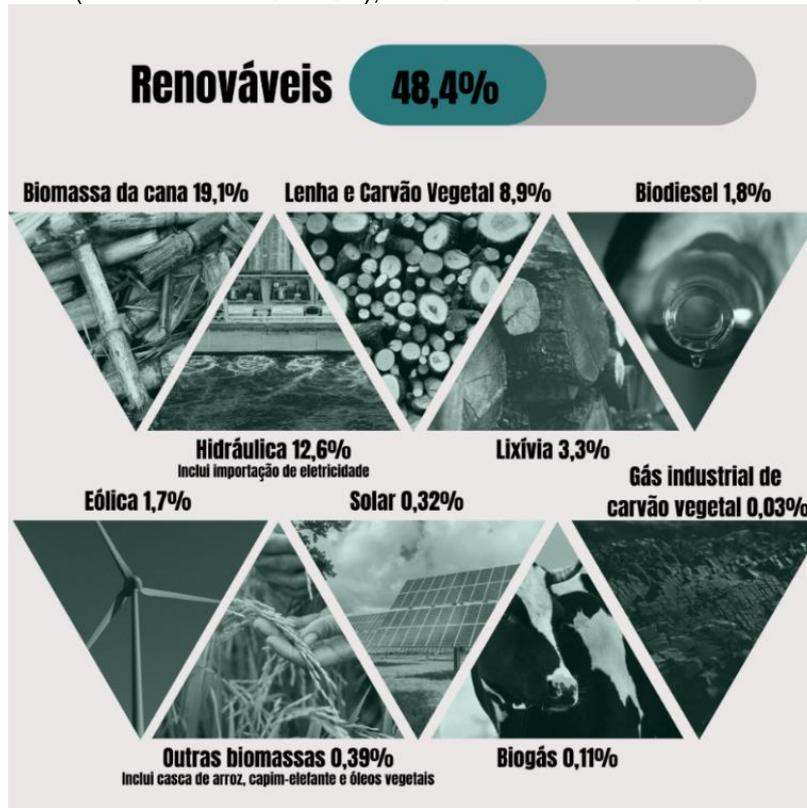
As fontes renováveis de geração de energia elétrica são pauta de diversos estudos e discussões, que geram argumentos sobre a importância ambiental e social destas soluções em relação à demanda atual e as projeções futuras realizadas.

Segundo o relatório síntese do Balanço Energético Nacional – BEN de 2021, tendo como base informações consolidadas sobre o quanto e como se usou a energia no Brasil no ano de 2020, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, a participação das fontes renováveis na matriz elétrica atingiu 84,8% e na matriz energética 48,4% durante o ano de análise, com aumentos consideráveis para geração eólica e solar, quando comparados com o ano anterior da pesquisa (2019). A geração de energia eólica teve um crescimento de 1,9%, alcançando a produção de 57,051 GWh, sendo que sua potência instalada para a geração de energia expandiu 11,4% em 2020. Já a geração hídrica, caracterizada como sendo a principal fonte de geração de energia no Brasil, registrou queda de 0,4% atingindo a produção em 2020 de 396,327 GWh em função da queda na importação, cuja principal origem é a Itaipu Binacional (Balanço Energético Nacional, 2021).

O relatório desta análise promove destaque à evolução da geração de energia solar fotovoltaica, que é foco direto das pesquisas e objetivos deste trabalho. Apresenta o maior índice de crescimento, dentre as fontes de geração de energias renováveis, registrando um percentual positivo de 61,5% em relação ao ano anterior. Atinge, no ano de 2020, 10.750 GWh contra 6.655 GWh registrados em 2019, além do aumento de 32,9% na capacidade instalada, sem considerar a micro e minigeração distribuídas, saltando de 2.473 MW para 3.287 MW de capacidade solar, o melhor crescimento dentre as demais fontes.

A Figura 1 apresenta a repartição e participação, em ordem de magnitude das fontes renováveis, que representam 48,4% na oferta interna de energia (matriz energética), de acordo com os dados apresentados pelo relatório síntese do Balanço Energético Nacional de 2021. Já a Figura 2 apresenta a atuação das fontes renováveis na geração elétrica nos anos de 2019 e 2020, demonstrando a variação percentual entre os anos de análise, com destaque para a geração de energia solar fotovoltaica, que obteve o melhor crescimento dentre as fontes renováveis em 2020, com relação ao ano anterior (2019).

FIGURA 1 – PARTICIPAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA OFERTA INTERNA DE ENERGIA (MATRIZ ENERGÉTICA), EM ORDEM DE MAGNITUDE.



FONTE: Autora, adaptado de Balanço Energético Nacional (2021).

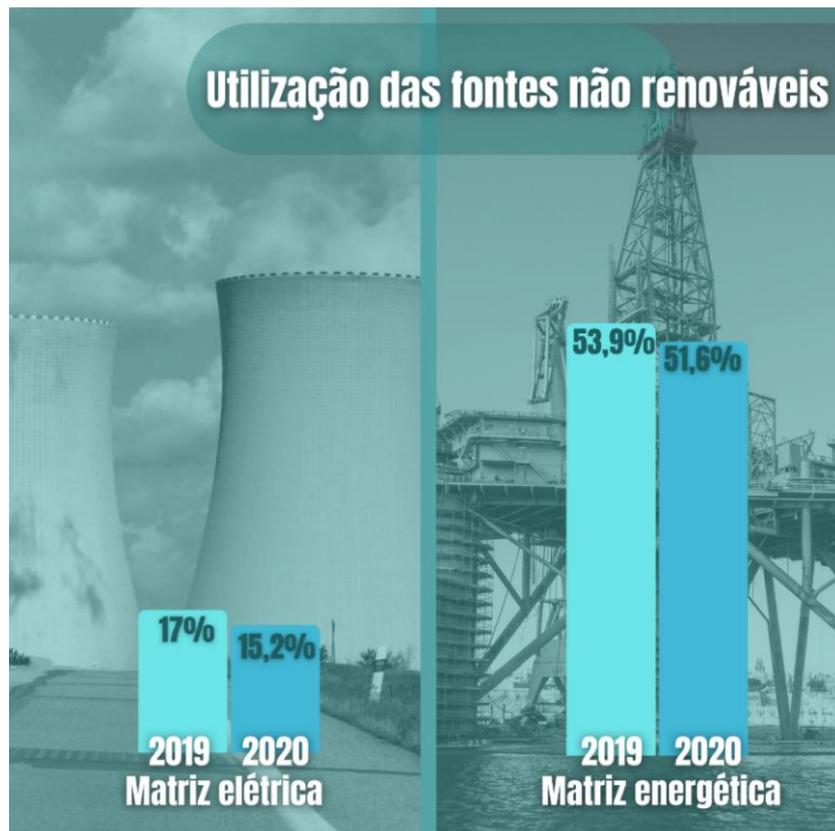
FIGURA 2 – ATUAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA GERAÇÃO ELÉTRICA 2019/2020, COM DESTAQUE PARA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

| Geração elétrica (GWh) no ano de 2020 <small>Inclui geração distribuída</small> | | | |
|---|---------|---------|---------|
| Fonte | 2019 | 2020 | △ 20/19 |
| Hidrelétrica | 397.877 | 396.327 | -0,4% |
| Gás Natural | 60.448 | 53.464 | -11,6% |
| Eólica | 55.986 | 57.051 | 1,9% |
| Biomassa <small>Inclui lenha, bagaço de cana, biodiesel e lixívia</small> | 52.543 | 56.167 | 6,9% |
| Nuclear | 16.129 | 14.053 | -12,9% |
| Carvão Vapor | 15.327 | 11.946 | -22,1% |
| Derivados do Petróleo <small>Inclui óleo diesel e óleo combustível</small> | 6.926 | 7.745 | 11,8% |
| Solar Fotovoltaica | 6.655 | 10.750 | 61,5% |
| Outras <small>Inclui outras fontes primárias, gás de coque e outras secundárias</small> | 14.438 | 13.696 | -5,1% |
| Geração Total | 626.328 | 621.198 | -0,8% |

FONTE: Autora, adaptado de Balanço Energético Nacional (2021).

Uma evidência importante neste contexto, também registrada no Balanço Energético Nacional de 2021, foi a redução da participação de fontes não renováveis na matriz elétrica de 17% em 2019 para 15,2% em 2020 e na matriz energética de 53,9% em 2019 para 51,6% em 2020. A Figura 3 demonstra os dados mencionados anteriormente, com relação à participação das fontes não renováveis durante o ano de 2020.

FIGURA 3 – PARTICIPAÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS FONTES NÃO RENOVÁVEIS NA MATRIZ ELÉTRICA E NA MATRIZ ENERGÉTICA EM 2019/2020.



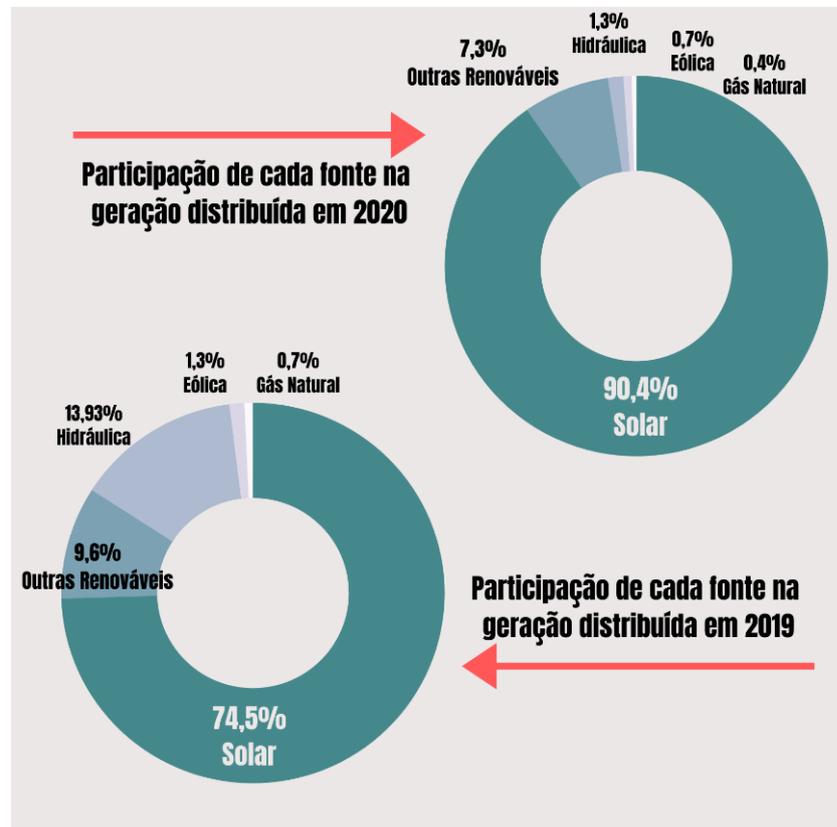
FONTE: Autora, adaptado de Balanço Energético Nacional (2021).

A fonte primária de geração de energia solar está destacada no relatório como uma das menores ofertas atualmente, apesar do crescimento gradativo e da inclusão e adaptação de tecnologias específicas e estudos relacionadas ao aprimoramento para alcançar a viabilidade econômica do sistema, devido ao seu alto custo inicial de investimento. Apesar deste cenário demonstrado, a importância da utilização desta renovável fonte de energia é extremamente relevante, devido à demonstração de diversas vantagens estruturais e ambientais.

Com relação a Micro e Minigeração distribuídas, o desempenho também foi consideravelmente melhor, apresentando aumento de 137% na geração distribuída, com geração total de 2.226 GWh em 2019, para 5.269 GWh em 2020, e de 14.954% com relação ao ano de 2015, onde a geração total das micro e minigerações era de 35 GWh. A Figura 4 demonstra a evolução e participação da fonte solar nas micro e minigeração distribuídas, de forma comparativa entre os anos de 2019 e 2020, que

foi o ano base para a apresentação dos resultados no relatório parcial do Balanço Energético Nacional de 2021.

FIGURA 4 – EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DA FONTE SOLAR NAS MICRO E MINIGERAÇÕES DISTRIBUÍDAS.



FONTE: Autora, adaptado de Balanço Energético Nacional (2020/2021).

O destaque do Balanço Energético Nacional, neste sentido, também fica à cargo da fonte solar fotovoltaica, que representa 90,4% da geração total, com 4.764 GWh e 4.635 MW de potência instalada.

2.2 EFEITO FOTOVOLTAICO

A energia solar fotovoltaica é obtida pela conversão direta da luz em eletricidade, o chamado efeito fotovoltaico, relatado em 1839 por Edmond Becquerel, ao observar uma diferença de potencial elétrico em uma estrutura de matéria semicondutora, após a incidência de luz.

As células fotovoltaicas são construídas a partir de material semicondutor, ou seja, com características intermediárias entre um condutor e um isolador, como o silício por exemplo, que é o segundo elemento mais abundante presente na terra. O cristal de silício puro não possui elétrons livres e, portanto, é mal condutor elétrico. Para alterar isto acrescentam-se doses de outros elementos. Este processo denomina-se dopagem. A dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas agora acrescentado Boro ao invés de Fósforo,

obtém-se um material com características inversas, ou seja, falta de elétrons ou material com cargas positivas livres (silício tipo P) (NASCIMENTO, 2004).

Cada célula solar compõe-se de camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P. Separadamente, ambas as capas são eletricamente neutras. Mas ao serem unidas, na região P-N, forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres do silício tipo N que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada “P” para a camada “N”. Por meio de um condutor externo, ligando a camada negativa à positiva, gera-se um fluxo de elétrons (corrente elétrica). Enquanto a luz incidir na célula, manter-se-á este fluxo. (NASCIMENTO, 2004).

2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.

A história da primeira célula solar “moderna” começou em março de 1953 quando Calvin Fuller, químico da Bell Laboratories (Bell Labs), em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades eléctricas (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Em estações remotas de telecomunicações foram empregadas células fotovoltaicas para o fornecimento de energia elétrica, devido a comprovação das suas características e desempenho no espaço. Outro agente impulsionador das pesquisas dessa tecnologia para aplicações diversas, inclusive para complementação do sistema elétrico existente, foi a crise do petróleo em 1973. A energia solar passou a atrair o interesse do governo, com a possibilidade real do esgotamento das reservas petrolíferas (NASCIMENTO, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com a forma de distribuição da energia elétrica. Sendo assim este sistema é dividido em dois grupos: Sistemas Isolados e Sistemas Conectados à Rede (RODRIGUES, 2017).

2.3.1 SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ISOLADOS (OFF-GRID)

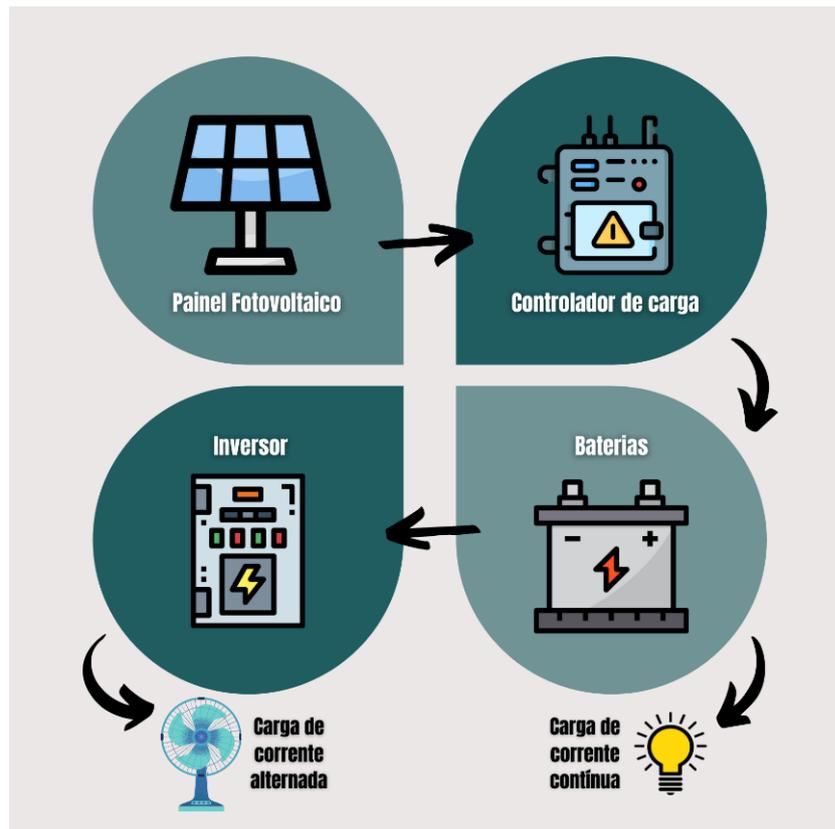
Os sistemas isolados (também chamados off-grid) são os sistemas que não estão conectados à rede de distribuição de eletricidade das concessionárias. São utilizados na maioria das vezes em lugares remotos ou de difícil acesso à energia elétrica. Esse tipo de sistema funciona armazenando a energia excedente em baterias e não na rede elétrica. Essas baterias garantem o abastecimento em período noturno ou com baixa incidência solar (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Quando o sol atinge o painel, há geração de energia elétrica, essa energia é então repassada ao controlador de carga, responsável pela gestão da mesma. Isso impede que a bateria seja carregada e descarregada em excesso, aumentando seu tempo de vida útil. A energia gerada é armazenada nas baterias que pode ser usada

diretamente em cargas de corrente contínua (CC) como lâmpadas ou então passar pelo inversor para ser usadas em equipamentos de corrente alternada (CA) (MACHADO; MIRANDA, 2015).

A Figura 5 demonstra de forma simplificada o funcionamento do sistema de geração fotovoltaica off-grid.

FIGURA 5 – DEMONSTRAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA OFF-GRID.



FONTE: Autora, adaptado de MACHADO; MIRANDA, 2015

2.3.2 SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADOS À REDE (ON-GRID)

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (on-grid) são aqueles que trabalham concomitantemente à rede elétrica da distribuidora de energia. De forma sucinta, o painel fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e, após convertê-la para corrente alternada, é injetada na rede de energia elétrica. Tal conversão se dá pela utilização do inversor de frequência, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica (PEREIRA; OLIVEIRA, 2013).

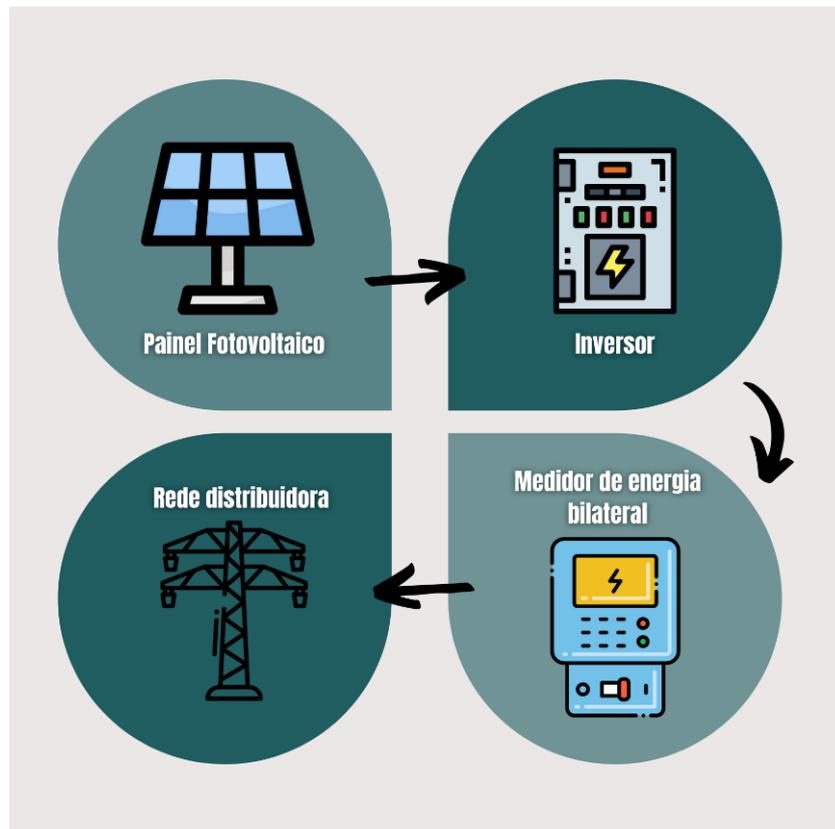
Este sistema também é conhecido como on-grid, não utiliza um sistema de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de geralmente terem menor custo (RODRIGUES, 2017).

Quando o sol atinge o painel, há geração de energia elétrica. Essa energia é então repassada ao inversor, que tem a função de transformar a corrente contínua

(CC) em corrente alternada (CA). O medidor de energia contabiliza a energia recebida pela rede e a gerada pelo painel, por isso “bilateral”. A energia gerada é então conectada à rede distribuidora (MACHADO; MIRANDA, 2015).

A Figura 6 demonstra de forma simplificada o funcionamento do sistema de geração fotovoltaica on-grid.

FIGURA 6 – DEMONSTRAÇÃO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ON-GRID.



FONTE: Autora, adaptado de MACHADO, 2015

2.4 PANORAMA MUNDIAL DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Historicamente, os estudos mais aprofundados relacionados aos ensaios de qualificação dos módulos fotovoltaicos tiveram início no ano de 1975, com o Laboratório de Propulsão a Jato (JPL), nos Estados Unidos, que é uma instalação de investigação nacional única que realiza missões de robótica espacial e ciências da Terra. O JPL ajudou a abrir a Era Espacial desenvolvendo o primeiro satélite científico americano de órbita da Terra, criando a primeira nave espacial interplanetária de sucesso e enviando missões robóticas para estudar todos os planetas do sistema solar, bem como asteroides, cometas e a Lua da Terra. Para além das suas missões, a JPL desenvolveu e gere a Rede Espacial Profunda da NASA, um sistema mundial de antenas que se comunica com as naves espaciais

interplanetárias. O laboratório é um centro de investigação e desenvolvimento com financiamento federal gerido para a NASA pela Caltech, Instituto de Tecnologia da Califórnia (JET PROPULSION LABORATORY,2021).

Em 1975, o JPL iniciou alguns estudos sobre os módulos fotovoltaicos, estudos estes que deram início à criação do programa JPL Block Buy, onde foram criados, a partir de diversos testes, blocos de testes de qualificação ideais para os módulos, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – JPL BLOCK BUY COM OS TESTES DE QUALIFICAÇÃO IDEAIS PARA MÓDULOS.

| Bloco I Outubro de 1975 | Bloco II Dezembro de 1976 | Bloco III Maio de 1977 | Bloco IV Novembro de 1978 | Bloco V Fevereiro de 1981 |
|------------------------------------|--|--|--|--|
| Ciclo térmico | Inspeção Visual | Inspeção Visual | Inspeção Visual | Inspeção Visual |
| Ciclo úmido | Desempenho elétrico (Curva característica) | Desempenho elétrico (Curva característica) | Continuidade do solo | Continuidade do solo |
| | Resistência ao isolamento | Resistência ao isolamento | Resistência dielétrica | Resistência dielétrica |
| | Resistência dielétrica | Resistência dielétrica | Desempenho elétrico (Curva característica) | Desempenho elétrico (Curva característica) |
| | Ciclo térmico | Ciclo térmico | Ciclo térmico | Ciclo térmico (50 ciclos) |
| | Ciclo úmido | Ciclo úmido | Ciclo de umidade | Ciclo térmico (200 ciclos) |
| | Ciclo de carga mecânica | Ciclo de carga mecânica | Ciclo de carga mecânica | Hot- Spot |
| | | | Resistência ao vento | Humidade/ Congelamento |
| | | | Resistência à Torção | Carregamento mecânico |
| | | | Resistência à Granizo | Resistência ao vento |
| | | | | Resistência à Granizo |

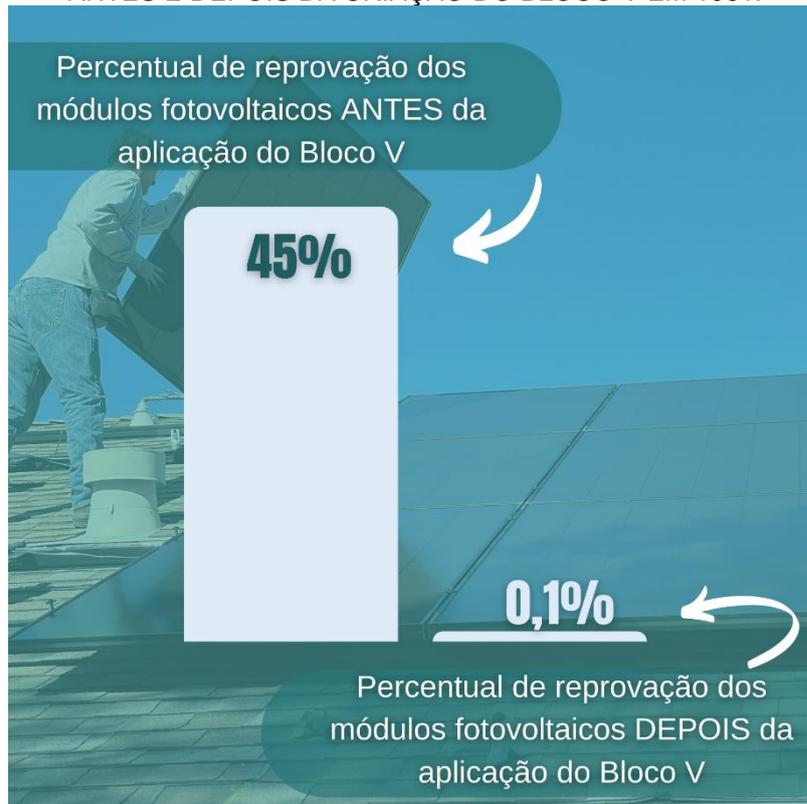
FONTE: Autora, 2021 adaptado de Jet Propulsion Laboratory

Em 1993, a Comissão Eletrotécnica Internacional IEC disponibilizou a primeira edição da norma internacional de número 61215, com o objetivo de estabelecer os requisitos para a qualificação de projeto e aprovação de tipo de módulos fotovoltaicos, apenas para silício cristalino. Contudo às modificações e adaptações continuaram a ser estudadas e implementadas como parâmetros para avaliação de desempenho dos módulos fotovoltaicos.

Conforme estudo desenvolvido por Merjorie L. Whipple, em 1993, demonstrou-se que durante os ensaios realizados antes da criação do quinto bloco pelo JPL, havia um percentual de reprovação de 45% nos módulos fotovoltaicos avaliados. Posteriormente, com a utilização do bloco V, criado no ano de 1981, o nível de reprovação não passou de 0,1% nos módulos (MRIG,1993).

Tal queda se deu devido à adaptação das tecnologias e no desenvolvimento dos módulos, já que conforme demonstrado anteriormente, os ensaios passaram a ser bem mais criteriosos e específicos, após a criação da norma IEC 61215, em 1993, pela Comissão Eletrotécnica Internacional. A Figura 7 apresenta de forma gráfica os dados do estudo detalhado de Merjorie L. Whipple em 1993 com relação aos ensaios realizados.

FIGURA 7 – COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE REPROVAÇÃO DOS MÓDULOS AVALIADOS ANTES E DEPOIS DA CRIAÇÃO DO BLOCO V EM 1981.



FONTE: Autora, adaptado de MRIG,1993

Em 1996, houve a necessidade da disponibilização da primeira versão da norma internacional de qualificação de módulos fotovoltaicos, baseada principalmente em tecnologias de silício amorfo – células de filmes finos, a norma IEC de número 61646. Em abril do ano de 2005, uma atualização da norma IEC 61215 foi realizada, determinando principalmente as características elétricas e térmicas do módulo. A revisão foi necessária tendo em vista às adequações tecnológicas desenvolvidas na área, para melhorar o atendimento ao crescimento industrial. Reflexo disto, foi a nova revisão também da norma IEC 61646, em maio do ano de 2008, onde as principais alterações realizadas referem-se aos critérios de aprovação e reprovação dos módulos de tecnologias de silício amorfo.

Oito anos depois, no ano de 2016, a Comissão Eletrotécnica Internacional divulgou uma nova revisão da norma internacional IEC 61215, incluindo uma nova estrutura de série padrão, consistente com outros padrões das normas da IEC. Em fevereiro de 2021 uma nova alteração da IEC 61215 foi publicada. A apresentação

da nova estrutura, bem como das principais modificações realizadas na nova versão, será realizada posteriormente no capítulo 3, deste documento.

A Figura 8 demonstra uma linha do tempo com o panorama mundial e evolução dos ensaios de qualificação em módulos fotovoltaicos.

FIGURA 8 – PANORAMA MUNDIAL E EVOLUÇÃO DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS.



FONTE: Autora

2.5 PANORAMA DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NO BRASIL.

Em 1984, o INMETRO iniciou de forma pioneira uma discussão com a sociedade sobre a conservação de energia, com a finalidade de contribuir para a racionalização no seu uso no país, informando aos consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente. Este projeto cresceu e se transformou no Programa Brasileiro de Etiquetagem (Programa Brasileiro de Etiquetagem – Histórico, 2021).

A partir da lei nº 10.295, publicada em 17 de outubro de 2001 (conhecida como a Lei de Eficiência Energética), o INMETRO, que estabelecia de forma voluntária programas de etiquetagem, passou a estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de eficiência energética, (Programa Brasileiro de Etiquetagem – Histórico, 2021). onde no artigo terceiro, dispõe que:

“Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho” (Lei 10.295).

O Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) constituiu, em 9 de fevereiro de 2002, dentro do escopo do PBE12, o Grupo de Trabalho de Sistemas Fotovoltaicos (GT-FOT). O grupo foi formado com o objetivo de estabelecer as normas para etiquetagem de sistemas fotovoltaicos e seus componentes, visando à contínua melhoria técnica destes produtos, a exemplo dos programas de sucesso para outros equipamentos tais como refrigeradores domésticos, motores elétricos, lâmpadas e sistemas de aquecimento solar de água (CRESESB, 2004).

Em maio de 2008 houve a criação da comissão técnica “Sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica”, que conforme artigo 2º da portaria número 166, de 30 de maio de 2008:

Estabelecer que esta Comissão Técnica tem como objetivo propor instrumentos efetivos de operacionalização, implementação e melhoria das atividades relativas ao Programa de Avaliação da Conformidade de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água (Portaria 166/2008).

No mesmo ano, foi disponibilizada, por trinta dias, para consulta pública, um regulamento para avaliação da conformidade destes equipamentos. A portaria 229 de 30 de junho de 2008 foi então disponibilizada, com a proposta de texto da portaria definitiva que seria publicada em novembro de 2008.

A portaria 396 - “Regulamento de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulo, controlador de carga, inversor e bateria)” foi publicada, com o objetivo e a necessidade de estabelecer regras equânimes e de conhecimento público para os segmentos de fabricação, importação e comercialização de Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica, de

fabricação nacional ou importado. O mecanismo de avaliação da conformidade utilizado no ano de 2008 era o da etiquetagem voluntária.

Em janeiro de 2011, foi realizada a publicação da Portaria 004 - “Requisitos de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulo, controlador de carga, inversor e bateria)”, onde aconteceram diversas modificações com relação a portaria anterior, que foi totalmente revogada por esta, que está em vigor apesar de ter sido revista e alterada parcialmente por outros regulamentos publicados posteriormente. Por se tratar de um mecanismo de avaliação da conformidade, e de etiquetagem compulsória, o documento determinou, a partir de sua publicação, a data limite (01/06/2011) para a fabricação e importação de sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, que estivessem em desacordo com os requisitos de avaliação da conformidade, bem como a data limite (01/06/2012) para a comercialização nacional dos sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, somente em conformidade com os requisitos ora aprovados.

Depois disto, após uma consulta pública, com objetivo de coletar contribuições da sociedade em geral, por meio da portaria número 128 de 19 de março de 2014 no Diário Oficial da União, seção 01, página 57, o texto da portaria 004 de 2011 passou a vigorar de acordo com a redação disposta na portaria 357 de 2014, que modificou detalhes do documento e o âmbito de aplicação, sem a necessidade de revogação.

Uma nova consulta pública foi disponibilizada em 18 de maio de 2015 no Diário Oficial da União, seção 01, página 54 e contou com a colaboração de técnicos do setor e da sociedade em geral para a elaboração de novos ajustes, publicados pela portaria 17 de 2016, que determinou novos prazos limites para que os inversores do sistema fotovoltaicos conectados à rede sejam fabricados e importados somente em conformidade com os requisitos da portaria 004 de 2011.

Desde então, novas portarias foram criadas para divulgação da autorização provisória de laboratórios para realização dos testes, devido à oferta insuficiente de serviços por parte dos laboratórios, aos fornecedores de produtos para geração fotovoltaica, relatadas pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Além de dificuldades relatadas pela Aneel, Agência Nacional de Energia Elétrica, para o cumprimento dos prazos estabelecidos para acreditação dos laboratórios (Portaria 271 de 03 de junho 2015 e Portaria 223 de 16 de maio de 2016).

Em 2017, novos prazos foram estabelecidos pela portaria 91 do mês de maio, justificados pela falta de familiaridade dos laboratórios com relação ao processo de acreditação, principalmente aqueles situados em universidades. Desta forma o reconhecimento provisório, foi estendido para o dia 31 de dezembro de 2018. Este venceu e foi novamente revogado, pela portaria 521 de dezembro de 2019, onde o INMETRO reconhece o não cumprimento dos prazos estabelecidos e autoriza a designação de laboratórios sem acreditação, para atendimento da demanda destes ensaios no país, autorizando 8 laboratórios a desempenhar ensaios específicos em

módulos fotovoltaicos, já que até o momento somente um laboratório (Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo – IEE/USP) possui acreditação concedida pela Coordenação Geral de Acreditação do INMETRO, em função do atendimento aos requisitos da ABNT NBR ISO IEC 17025. A Figura 9, demonstra a evolução das regulamentações e ensaios em módulos fotovoltaicos no país.

FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DAS REGULAMENTAÇÕES E ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO EM MÓDULOS FOTOVOLTÁICOS NO BRASIL.



FONTE: Autora

Na sequência, na Figura 10 é apresentada, no mapa do Brasil, a localização dos laboratórios designados pelo INMETRO.

FIGURA 10 – MAPA DO BRASIL COM A LOCALIZAÇÃO DOS LABORATÓRIOS DESIGNADOS PARA ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.



FONTE: Autora

2.6 CONFIABILIDADE E QUALIDADE DOS TESTES DE QUALIFICAÇÃO DISPONÍVEIS PARA OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

A Qualificação dos módulos é realizada com base em normas IEC. Entretanto, o termo “qualidade” é muito genérico e muitas vezes mal utilizado se baseando apenas na conformidade com estas normas. A confiabilidade não é definida, nem coberta pelas IEC existentes. A falta de padrões de confiabilidade deve-se parcialmente ao fato de que, até o momento, não existem dados estatísticos suficientes coletados dos campos, pois mesmo as instalações mais antigas ainda têm que atingir sua vida útil. (ARNDT; PUTO, 2010).

Logicamente, para garantir a qualidade e confiabilidade do desempenho e características técnicas e de segurança dos módulos, os testes realizados para avaliação de desempenho devem ser realizados nas condições de uso do equipamento e inclusive durante toda a sua vida útil. Contudo, os módulos fotovoltaicos são projetados para durar de 20 a 25 anos em condições normais de uso, ou seja, sujeito a suportar condições climáticas variadas durante todo este período.

Neste contexto, fica claro que é inviável aguardar 25 anos para avaliar adequadamente o desempenho e características do módulo. Por este motivo, segundo Wohlgemuth, é necessário utilizar dados de teste ao ar livre para desenvolver testes de desenvolvimento acelerado e, assim, o primeiro passo deste processo é identificar as várias falhas de campo que foram observadas para os diferentes tipos de módulos (WOHLGEMUTH, 2012).

Tendo em vista que os testes de qualificação são realizados com base no histórico de falhas identificadas, é possível supor que com a adequação tecnológica os testes continuem a ser observados e modificados, a fim de refletir de forma satisfatória, as condições reais de uso destes equipamentos.

Estudos recentes apontam, que a resistência ao isolamento em condições de umidade, é uma das causas mais frequentes de falhas nos testes de módulos fotovoltaicos. Segundo Roth, embora o procedimento de teste esteja descrito na norma, resultados diferentes para a corrente de fuga foram encontrados em amostras idênticas, seguindo a metodologia normativa (IEC 61646, 10.15) A causa raiz desta discrepância foi avaliada pelo Centro de teste de módulo e confiabilidade MTRC na Oerlikon Solar (Truebback-CH). O estudo concluiu que a faixa da temperatura do banho estabelecida por norma, $22\pm 3^{\circ}\text{C}$, permite variações de resistência de isolamento em cerca de 50% (ROTH, 2009).

O nível da água, também foi analisado, pois quando as superfícies não são devidamente cobertas, a corrente de fuga diminui, mas se o módulo estiver submerso, o aumento do nível de água não interfere na corrente de fuga medida. Outra consideração deixada por este estudo é de que os principais contribuidores para a corrente de fuga dos módulos são os vidros e, portanto, dependendo da resistividade deles, conclusões errôneas podem ser tiradas, quando um valor fixo é utilizado como critério de avaliação e aprovação do equipamento, pois um modelo de módulo pode por exemplo iniciar os ensaios com uma resistência ao isolamento baixa e ser reprovada no teste, mesmo que depois sua resistência se mantenha estável, sendo que, outros modelos poderão ser aprovados inicialmente e oferecer risco à segurança no decorrer de sua vida útil (ROTH, 2009).

Com a revisão de 2016 da IEC 61215, a harmonização e, mais precisamente, a combinação da IEC 61215 e IEC 61646 foi motivada pelos seguintes itens:

- Eliminar a percepção de que as tecnologias de filmes finos são inferiores às tecnologias cristalinas;
- Estabelecer requisitos idênticos para todas as tecnologias;
- Submeter todas as tecnologias aos mesmos testes, e;
- Fornecer a simplificação para o cliente, já que a pesquisa e seleção dos produtos são baseadas em um único padrão de qualificação (JAECKEL, Bengt et al. Combined standard for PV module design qualification and type approval: New IEC 61215–series. In: 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference–Amsterdam. 2014).

Após esta importante alteração e união das normas em 2016, não foram encontrados estudos específicos para comparação de desempenhos laboratoriais,

tendo como base as metodologias normativas. Espera-se que nestes últimos anos, dados estejam sendo coletados, para análise minuciosa do percentual de falhas nos módulos fotovoltaicos e para identificação de quais são estas falhas e quando as mesmas ocorrem, para que, apesar de toda evolução tecnológica, os ensaios de qualificação se mantenham ideais de forma a avaliar o desempenho dos módulos fotovoltaicos, de forma a minimizar falhas e erros durante a utilização dos mesmos.

2.7 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE

Segundo o INMETRO, o conhecimento científico e tecnológico e a capacidade de inovação são os insumos principais para o sucesso econômico consistente e autossustentado e que, no cenário que se descortina, estará cada vez mais apoiado no desenvolvimento tecnológico com base no conhecimento científico e na capacidade tecnológica e industrial, ou seja, o país que não tiver competência científica e capacidade tecnológica e industrial, ainda que disponha do capital, da mão-de-obra e das matérias-primas, estará condenado a gravitar em torno dos países mais competentes (FERMAM, 2010).

É considerando este cenário que fica evidente a importância da garantia da qualidade no mercado. O atendimento às especificações e critérios de referência como, por exemplo, regulamentos e normas técnicas, são determinados por meio de inspeções, calibrações ou ensaios, o que podemos titular como o processo de avaliação da conformidade.

Segundo a publicação “Avaliação da Conformidade” do INMETRO, a expressão avaliação da conformidade está definida como o “exame sistemático do grau de atendimento por parte de um produto, processo ou serviço a requisitos especificados”. Já a OMC – Organização Mundial do Comércio, define a expressão como “qualquer atividade com objetivo de determinar, direta ou indiretamente, o atendimento a requisitos aplicáveis” (INMETRO,2015).

Historicamente, no Brasil este processo de avaliação era realizado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO a partir da década de 80. Em 1992, passaram a ser conduzidas por organismos e laboratórios acreditados pela própria instituição, que é o único acreditador oficial brasileiro, com reconhecimento internacionalmente pelo IAF – International Accreditation Forum.

A Avaliação da Conformidade busca atingir dois objetivos fundamentais. Em primeiro lugar, deve atender preocupações sociais, estabelecendo com o consumidor uma relação de confiança de que o produto, processo ou serviço está em conformidade com requisitos especificados. Por outro lado, não pode tornar-se um ônus para a produção, isto é, não deve envolver recursos maiores do que aqueles que a sociedade está disposta a investir. Desta forma, a Avaliação da Conformidade é duplamente bem-sucedida, na medida que proporciona confiança ao consumidor e, ao mesmo tempo, requer a menor quantidade possível de recursos para atender às necessidades das partes interessadas (Instituto de Pesos e Medidas do Estado de Rondônia, 2021).

Neste contexto, a avaliação da conformidade do sistema fotovoltaico de geração de energia é indispensável, visto que, o objetivo geral neste caso é o fornecimento a confiança por parte do consumidor, relacionada à critérios importantes como a segurança e o desempenho dos produtos.

3 ESTADO DA ARTE / REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A disponibilização dos equipamentos de geração de energia fotovoltaica ao público, de forma a garantir o desempenho ideal e assegurar a segurança e a qualidade requerida pelo mercado, é controlada por meio de ensaios laboratoriais específicos, com critérios pré-estabelecidos pela regulamentação nacional e internacional vigente. Estes ensaios de qualificação estão em constante avaliação, e são questionados e discutidos regularmente, a fim de que sua aplicação eficiente, seja seguramente suficiente para garantir a qualidade e segurança durante a vida útil do equipamento fornecido.

Considerando que a concepção desta tecnologia de geração de energia e os ensaios aplicáveis atualmente aos equipamentos utilizados, são razoavelmente recentes, esta pauta de discussão, aplicação e avaliação dos ensaios dispostos, está ocorrendo de forma progressiva. Especificamente para os ensaios de qualificação em módulos fotovoltaicos, tendo em vista a aplicação laboratorial comparativa e aplicação teórica relacionada à regulamentação, não foram encontrados estudos recentes que pudessem incluir resultados e discussões relacionadas aos objetivos deste trabalho.

Tendo em vista que a aplicação e a evolução normativa relacionada aos ensaios em módulos fotovoltaicos, são foco de todas as análises observadas neste documento, a seguir, serão apresentadas as mais recentes revisões normativas, relacionados aos ensaios de qualificação nos equipamentos do sistema de geração de energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo.

3.1 ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Em fevereiro de 2021, uma nova versão da norma IEC 61215 foi disponibilizada, no mesmo formato estrutural da versão anterior de 2016, com duas partes principais e mais 4 subpartes.

A parte 1 descreve os requisitos gerais para qualificação de projetos de módulos fotovoltaicos terrestres adequados para operação de longo prazo em climas ao ar livre, sendo que a vida útil de serviço dos módulos assim qualificados dependerá de seu projeto, seu ambiente e das condições em que são operados. Os resultados não são interpretativos como uma previsão quantitativa da vida útil do módulo. Este documento se destina a ser aplicado a todos os materiais de módulo de placa plana terrestre, como tipos de módulo de silício cristalino, bem como módulos de filme fino. Não se aplica a sistemas que não sejam aplicações de longo prazo, como módulos flexíveis instalados em toldos ou tendas.

A parte 1-1 lista os requisitos especiais para ensaios de módulos fotovoltaicos de silício cristalino (PV).

A parte 1-2 menciona os requisitos especiais para testes de módulos fotovoltaicos (PV) à base de telureto de cádmio (CdTe) de película fina.

A parte 1-3 lista os requisitos especiais para ensaios de módulos fotovoltaicos (PV) baseados em silício amorfo de película fina.

A parte 1-4 lista os requisitos especiais para testes de módulos fotovoltaicos (PV) baseados em Cu (In, GA) (S, Se) 2 de película fina.

A parte 2 estabelece requisitos para qualificação de projeto de módulos fotovoltaicos terrestres adequados para operação de longo prazo em climas ao ar livre. Este documento se destina a ser aplicado a todos os materiais de módulo de placa plana terrestre, como tipos de módulo de silício cristalino, bem como módulos de filme fino. O objetivo desta sequência de teste é determinar as características elétricas do módulo e mostrar, tanto quanto possível dentro de restrições razoáveis de custo e tempo, que o módulo é capaz de suportar a exposição prolongada ao ar livre.

A Figura 11 demonstra a segmentação de cada parte específica da norma, segundo a Comissão Eletrotécnica Internacional.

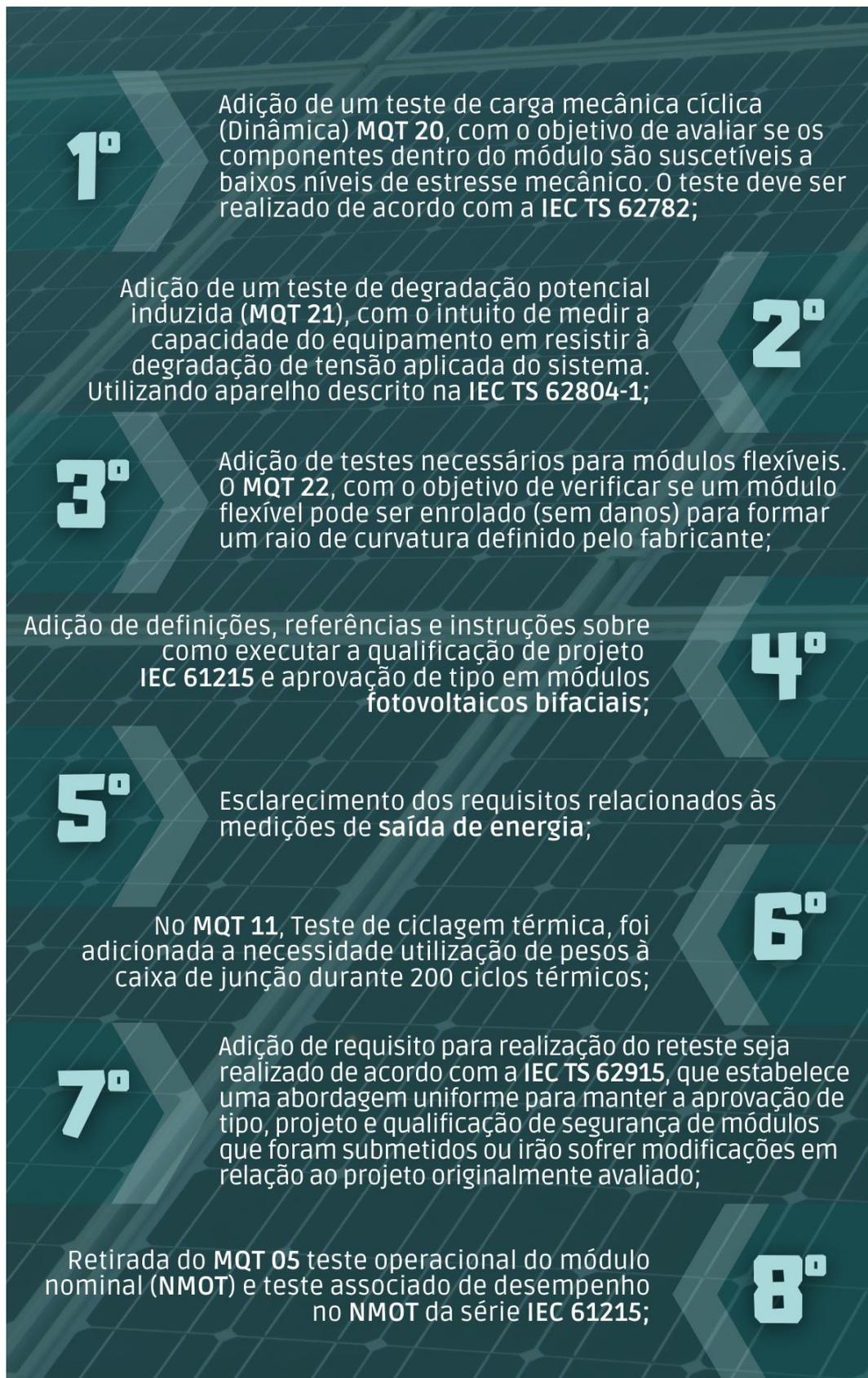
FIGURA 11 – APLICAÇÃO GERAL DA NORMA IEC 61215:2021 E TODAS AS SUAS PARTES.

| | |
|---------------------------|--|
| IEC 61215-1-2021 | Módulos fotovoltaicos terrestres (PV) - Qualificação de projeto e aprovação de tipo. Parte 1: Requisitos de teste. |
| IEC 61215-1-1-2021 | Parte 1-1: Requisitos especiais para teste de módulos fotovoltaicos (FV) de silício cristalino. |
| IEC 61215-1-2-2021 | Parte 1-2: Requisitos especiais para teste de módulos fotovoltaicos (PV) baseados em telureto de cádmio de película fina (CdTe). |
| IEC 61215-1-3-2021 | Parte 1-3: Requisitos especiais para teste de módulos fotovoltaicos (PV) baseados em silício amorfo de filme fino. |
| IEC 61215-1-4-2021 | Parte 1-4: Requisitos especiais para teste de módulos fotovoltaicos (PV) baseados em Cu (In, GA) (S, Se)2 de filme fino. |
| IEC 61215-2-2021 | Módulos fotovoltaicos terrestres (PV) - Qualificação de projeto e aprovação de tipo. Parte 2: Procedimentos de teste. |

FONTE: Autora

A Figura 12 demonstra, as principais alterações disponibilizadas na nova versão da norma internacional IEC 61215:2021, com relação à versão anterior do ano de 2016.

FIGURA 12 – APRESENTAÇÃO DAS PRINCIPAIS MUDANÇAS REALIZADAS NA VERSÃO ATUALIZADA (2021) DA NORMA IEC 61215.



FONTE: Autora

3.2 ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO NO BRASIL.

Após a atualização internacional da norma IEC 61215, em fevereiro de 2021, a portaria 004 de 04 de janeiro de 2011 passou por uma análise crítica, que conta com a colaboração dos laboratórios e da sociedade, por meio de uma consulta pública, com o objetivo de reunir todas as modificações que se façam necessárias, nos últimos 10 anos, para que a regulamentação brasileira seja reflexo da metodologia internacional e que seja aplicável para as condições e características locais e específicas.

A portaria em análise é a Consulta Pública, número 16 de 11 de abril de 2021, com a proposta de alteração dos requisitos de avaliação da conformidade para equipamentos para geração de energia fotovoltaica, publicado pela portaria INMETRO número 004 de 4 de janeiro de 2011. A portaria permite que em um prazo de sessenta dias, sejam apresentadas sugestões e críticas relativas aos textos propostos. Depois de finalizado o prazo fixado pela portaria, o INMETRO articulará entre as instituições que manifestaram interesse, para que indiquem representantes nas discussões posteriores, visando a consolidação do texto final.

Até o presente momento, contudo, os ensaios se mantem de acordo com a documentação vigente (portaria 004 de janeiro de 2011) e devem ser realizados de acordo com as metodologias descritas. Não há previsão para que a nova versão seja publicada, para que os novos requisitos sejam seguidos pelos laboratórios designados e acreditados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foram utilizados materiais e métodos específicos e selecionados criteriosamente de acordo com a necessidade intrínseca. A apresentação de cada um destes insumos, foi organizada em subcapítulos, apresentados a seguir:

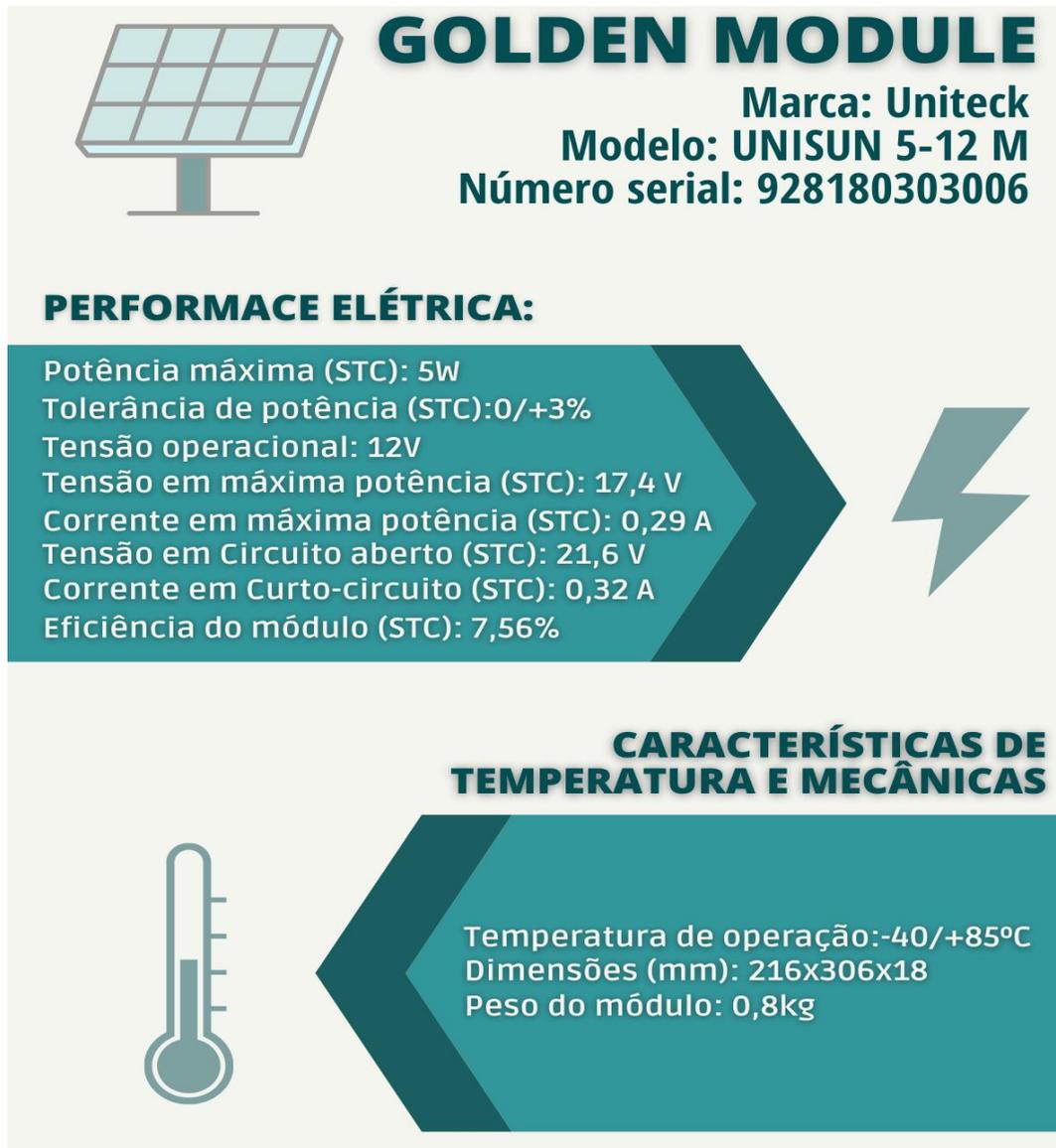
- Materiais utilizados para a comparação entre os laboratórios;
- Método para acompanhamento remoto dos ensaios em módulos fotovoltaicos;
- Método para análise teórica comparativa relacionada à regulamentação de avaliação da conformidade para módulos fotovoltaicos;
- Métodos estatísticos utilizados para a comparação entre laboratórios.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 MATERIAS UTILIZADOS PARA A COMPARAÇÃO ENTRE OS LABORATÓRIOS.

Para a comparação entre os laboratórios, foi necessária a utilização de amostra de um módulo fotovoltaico. A Figura 13 apresenta as informações técnicas do módulo adaptado com a apresentação das informações de maior relevância.

FIGURA 13 –INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO UTILIZADO NA COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL.



FONTE: Autora, adaptado de Datasheet UNITECK

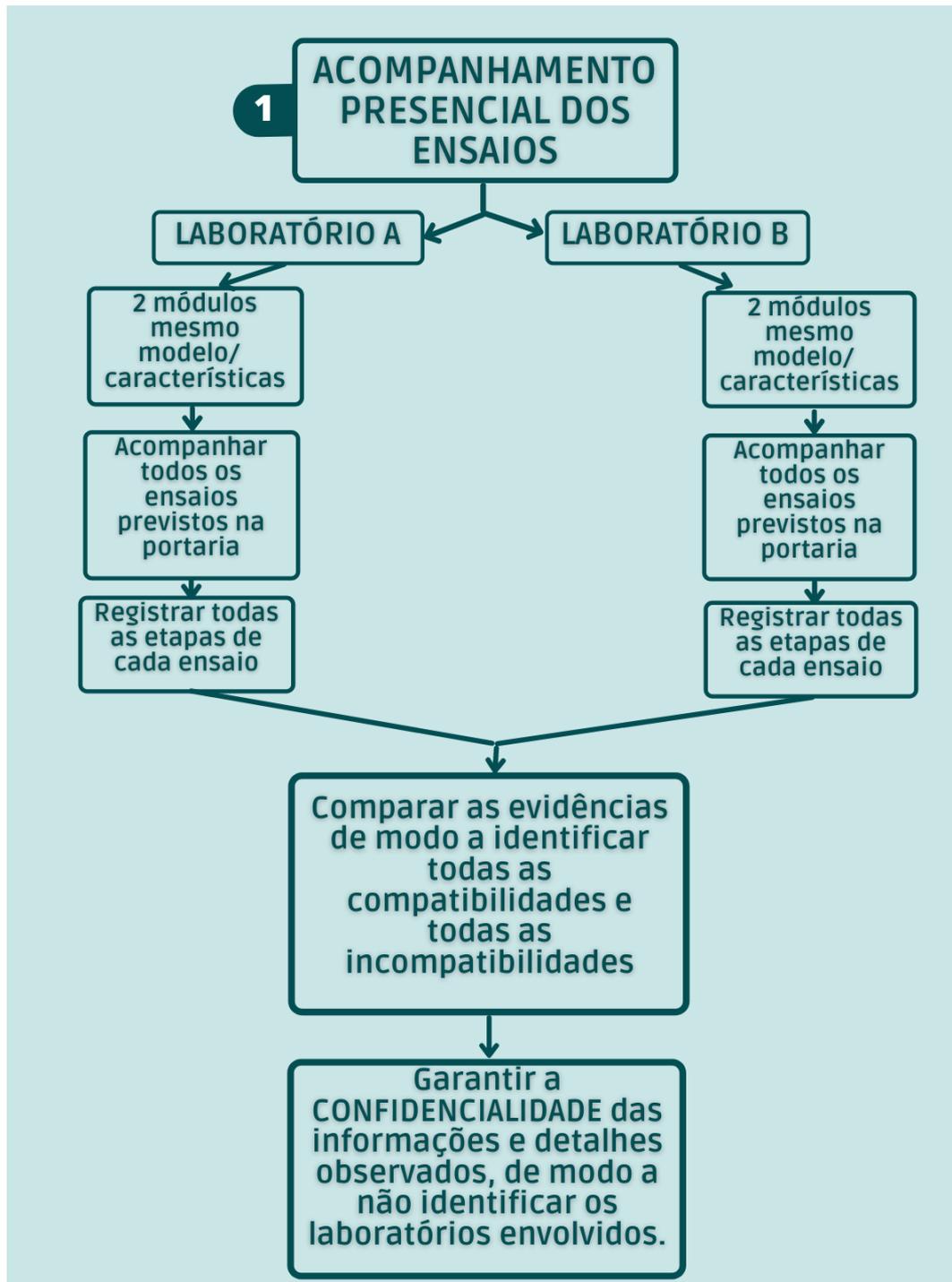
4.2 MÉTODOS

Os métodos utilizados para realização de cada etapa desta pesquisa, desde o acompanhamento remoto utilizado até mesmo para a avaliação estatística dos resultados, são mencionados a seguir:

4.2.1 MÉTODO PROPOSTO PARA O ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS PREVISTOS NA REGULAMENTAÇÃO:

A Figura 14 apresenta um fluxograma com o método proposto para a realização do acompanhamento dos ensaios realizados conforme a regulamentação.

FIGURA 14 – FLUXOGRAMA COM O PROCESSO PROPOSTO PARA O ACOMPANHAMENTO PRESENCIAL DOS ENSAIOS PREVISTOS NA REGULAMENTAÇÃO.

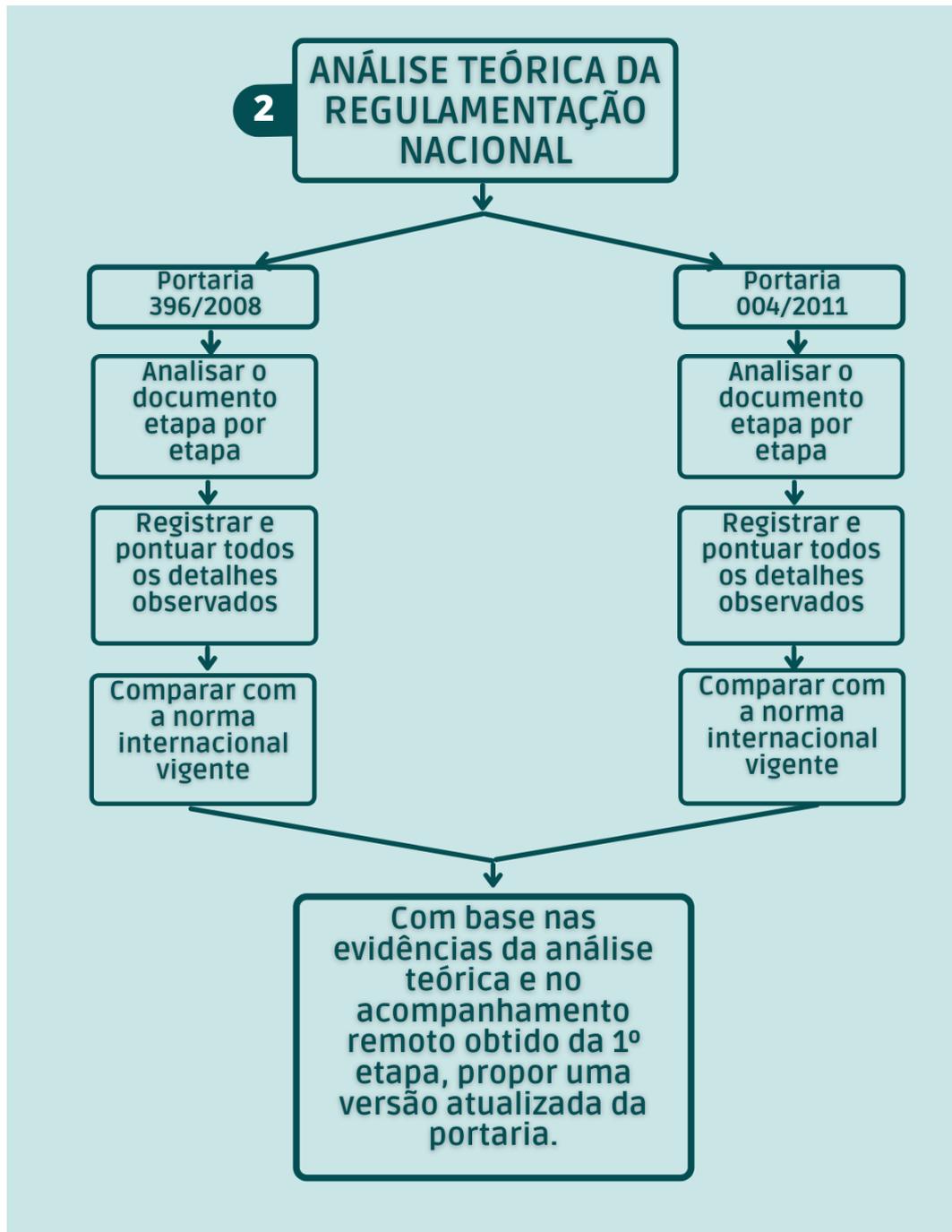


FONTE: Autora

4.2.2 MÉTODO PROPOSTO PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL.

A Figura 15 apresenta um fluxograma com o método proposto para a realização da análise teórica relacionada à regulamentação nacional referente aos ensaios de qualificação de módulos fotovoltaicos.

FIGURA 15 – FLUXOGRAMA COM O PROCESSO PROPOSTO PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL.

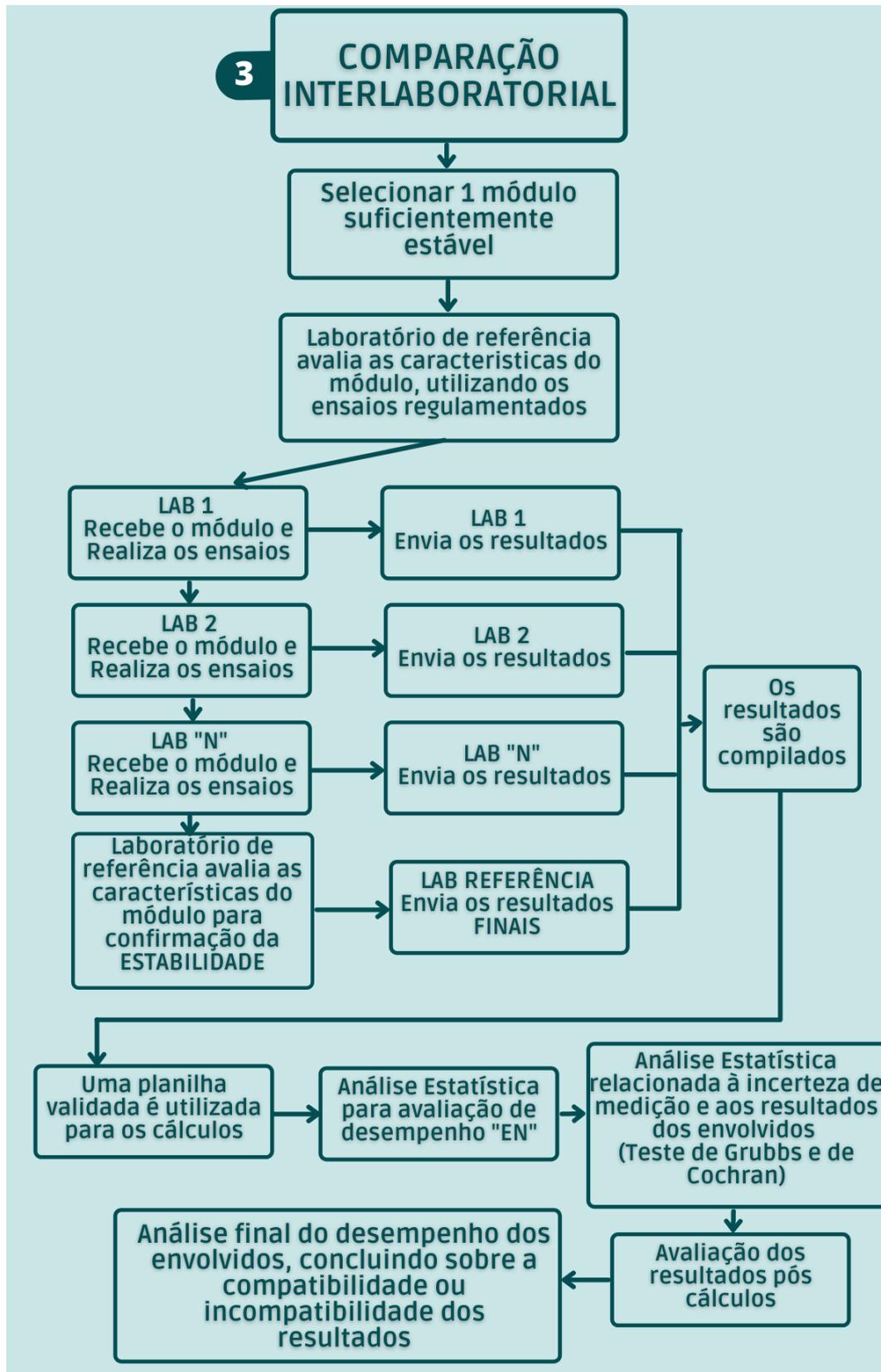


FONTE: Autora

4.2.3 MÉTODO PROPOSTO PARA A COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL EM ENSAIOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

A Figura 16 apresenta um fluxograma com o método proposto para a realização da comparação interlaboratorial para avaliação estatística do desempenho dos laboratórios que realizam os ensaios de qualificação em de módulos fotovoltaicos.

FIGURA 16 – FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS PROPOSTAS PARA A COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL EM ENSAIOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.



FONTE: Autora

4.2.3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA UTILIZADA.

Considerando que os métodos de análise de dados podem diversificar a partir do mais habitual e entendível, utilizando a aplicação estatística que utiliza várias técnicas para descrever e sintetizar um conjunto de dados de maneira direta, como a média, desvio padrão mediana por exemplo na aplicação da estatística descritiva, até aos métodos mais complexos e substanciais que utilizam combinações de resultados diferentes e inferências probabilísticas para obtenção dos resultados. A escolha do modelo estatístico utilizado para esta comparação interlaboratorial levou em consideração o seguinte:

- A natureza dos dados recebidos (quantitativos);
- Os mensurandos em que a amostra utilizada contempla;
- O número esperado de resultados a serem recebidos; e
- Pressupostos estatísticos.

Neste caso, para os ensaios de módulos fotovoltaicos, o procedimento definido para determinação do valor designado e incerteza de medição associada utilizados para avaliação de desempenho, é o procedimento que considera valores de referência, onde para a determinada análise, medição ou comparação será utilizado um material ou padrão de referência, rastreável a um padrão nacional ou internacional.

Os valores de referência são calculados a partir dos resultados das medições realizadas pelo laboratório atuante, selecionado para atividade (laboratório de referência).

4.2.3.1.1 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO COMPARATIVA

Para seleção do parâmetro estatístico adequado a avaliação de desempenho dos laboratórios, foram considerados aspectos importantes, como por exemplo: o tipo de programa realizado, o comportamento do item utilizado, as considerações da norma ABNT NBR ISO IEC 17043 e as metodologias indicadas em normas técnicas como ISO 13528, Guia IUPAC e ISO 5725.

A análise da atuação estatística para avaliações quantitativas utilizada para que os resultados e dados fossem transformados em uma estatística de desempenho, auxiliando a interpretação e permitindo comparação contra os critérios de desempenho, foi realizada por meio do parâmetro Erro Normalizado (E_n) (ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011), calculado por meio da equação (1):

$$E_n = \frac{x_{lab} - X_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

Onde:

x_{lab} : resultado obtido pelo laboratório a ser avaliado;

X_{ref} : valor designado com base nos resultados do laboratório de referência;

U_{lab} : Incerteza Expandida de Medição do laboratório a ser avaliado;

U_{ref} : Incerteza Expandida de Medição do valor designado.

Neste caso o desempenho do laboratório foi avaliado considerando os critérios específicos definidos para o parâmetro utilizado:

- Se o resultado da equação for $(|E_n| \leq 1,0)$, o desempenho é considerado “Satisfatório”;
- Se o resultado da equação for $(|E_n| > 1,0)$, o desempenho é considerado “Insatisfatório”.

4.2.3.1.2 ANÁLISE DE DADOS E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Os mecanismos a seguir, foram utilizadas para fornecer confiabilidade com relação à avaliação de desempenho proposta, evitando resultados inconclusivos ou falhos referente ao intuito desta comparação:

- a) Para análise dos dados e avaliação dos resultados da comparação, foram utilizadas planilhas de cálculos devidamente validadas e protegidas contra alterações indevidas;
- b) Resultados discrepantes, erros de transcrição de dados ou de cálculos foram identificados antes de sua aplicação na análise de resultados;
- c) A transferência das informações originais dos laboratórios foi realizada e conferida em duas oportunidades distintas;
- d) Os resultados obtidos da avaliação de desempenho foram criteriosamente avaliados antes de concluídos.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para alcançar os objetivos específicos e conseqüentemente o objetivo geral desta pesquisa, foram utilizadas técnicas com aplicações em escopos distintos. A apresentação e a discussão dos resultados de cada uma destas técnicas, foi organizada em subcapítulos, apresentados a seguir:

- Análise e comparação técnica das metodologias utilizadas pelos laboratórios, com base no acompanhamento remoto;
- Análise comparativa relacionada às regulamentações nacionais para módulos fotovoltaicos;
- Análise dos resultados obtidos da avaliação estatística e comparação interlaboratorial.

5.1 ACOMPANHAMENTO REMOTO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

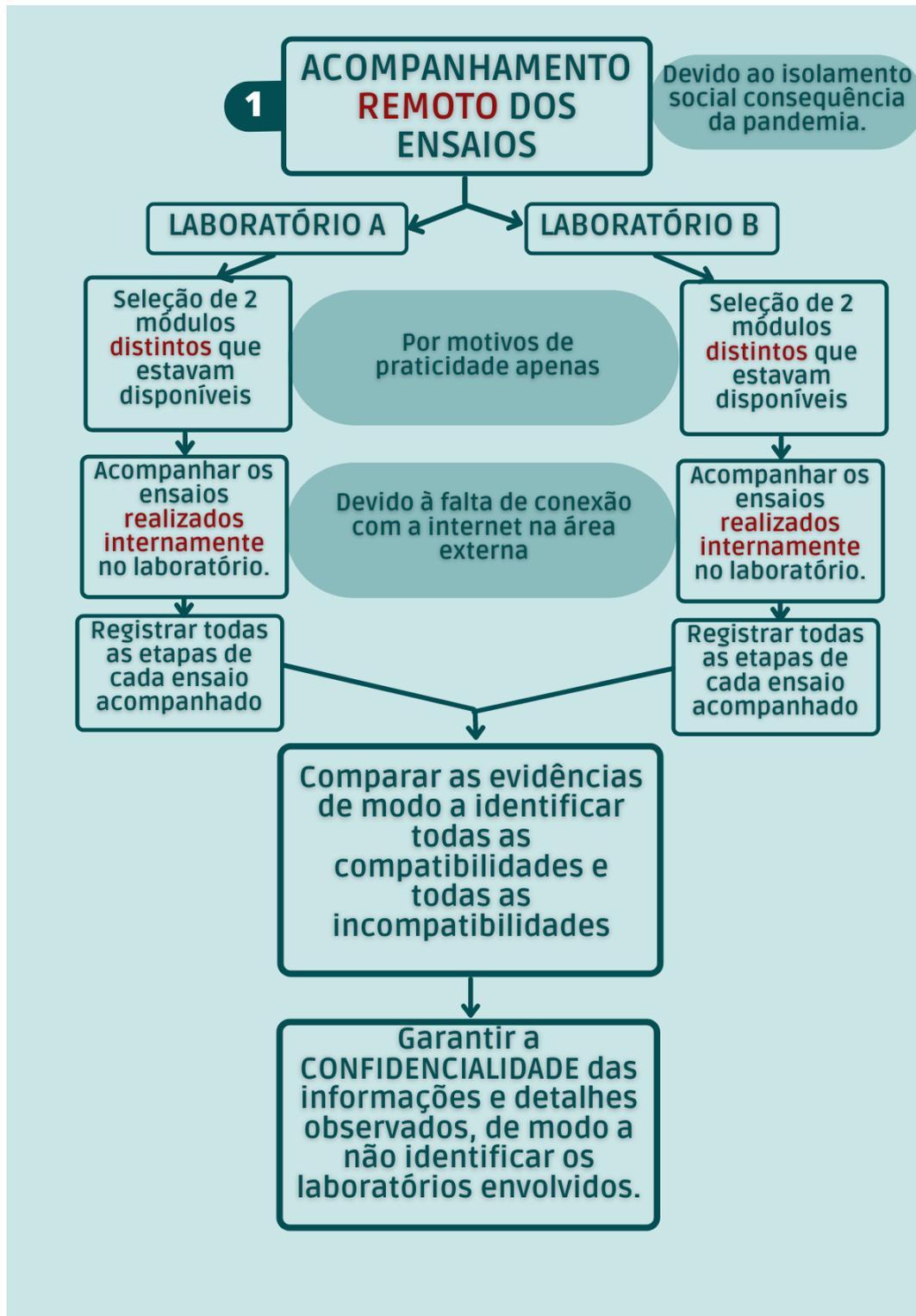
O acompanhamento remoto dos ensaios em módulos fotovoltaicos foi realizado para substituir o acompanhamento presencial que foi proposto inicialmente para avaliar e analisar de forma comparativa as metodologias utilizadas pelos laboratórios atuantes na área.

Assim que foi definido o planejamento das avaliações presenciais, em março de 2020, toda a estrutura laboratorial do país, bem como todos os outros mercados foram diretamente impactados pela pandemia do COVID 19. Inicialmente, a percepção do mercado era de que a interrupção dos trabalhos presenciais, em função do isolamento social, seria provisória. Contudo as conseqüências da doença e das medidas restritivas indispensáveis, foram prolongadas e ainda permanecem em nossa rotina. Assim, visto que o planejamento e o acompanhamento das metodologias laboratoriais é parte indispensável para que os objetivos específicos e o objetivo geral deste trabalho sejam atingidos, o acompanhamento remoto foi sugerido como solução para a situação descrita. Apesar de ter sido alcançado, o processo remoto também foi interrompido em vários momentos devido à interrupção das atividades e fechamento programado dos laboratórios, em função também do isolamento social e conseqüências do crescente aumento nos casos e óbitos das vítimas da COVID-19.

A Figura 17 apresenta o fluxograma com o método realizado para acompanhamento dos ensaios em módulos fotovoltaicos, demonstrando as diferenças entre o método proposto e o método efetivamente realizado.

Por motivos de garantia da confidencialidade das metodologias aplicadas, bem como dos dados demonstrados pelos laboratórios, não serão mencionados os nomes das instituições participantes, e serão denominados a seguir como LABORATÓRIO A e LABORATÓRIO B.

FIGURA 17 – FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS EFETUADAS PARA O ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.



FONTE: Autora

5.1.1 ACOMPANHAMENTO REMOTO DA METODOLOGIA UTILIZADA PELO LABORATÓRIO A

No dia 21 de janeiro de 2021, foi realizada reunião remota, contando com a participação dos técnicos e responsáveis pelo LABORATÓRIO A, onde via transmissão ao vivo e remota, foi possível acompanhar a condução dos ensaios previstos na metodologia vigente (Portaria número 004, de 04 de janeiro de 2011. Anexo 1).

Durante a transmissão o laboratório utilizou duas amostras distintas, em desacordo com a regulamentação, somente por praticidade e conveniência, já que um dos módulos padrão do laboratório já estava instalado para análise, e poderia ser utilizado para demonstração visual de todo o processo.

5.1.1.1 TRATAMENTO PRÉVIO DA AMOSTRA

O processo de pré-condicionamento obrigatório pela regulamentação vigente não foi acompanhado, devido à impossibilidade de conexão de internet fora das instalações do laboratório, onde é realizado a disponibilização dos módulos e acompanhamento da radiação mínima necessária para dar início à inspeção visual e demais ensaios do módulo avaliado, de acordo com o anexo 1 da portaria número 004 de janeiro de 2011.

5.1.1.2 INSPEÇÃO VISUAL DA AMOSTRA

A inspeção visual é realizada considerando que o ambiente escolhido pelo laboratório atenda os critérios mínimos normativos, para avaliação precisa de defeitos visuais do equipamento. A iluminação do ambiente deve ser de no mínimo 1000 lux, de acordo com a normalização internacional. O laboratório A, realiza a inspeção visual na parte externa do laboratório, e monitora a intensidade luminosa, utilizando um luxímetro calibrado antes de todas as inspeções realizadas, garantindo que a condições mínima para realização da inspeção seja corretamente seguida.

5.1.1.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA DA AMOSTRA

Para a determinação da potência máxima das amostras, o laboratório inicialmente realiza a climatização da amostra com o ambiente laboratorial, onde o módulo fica acondicionado dentro do laboratório de um dia para o outro, para que durante a realização do ensaio, a temperatura da amostra seja similar e correspondente com a temperatura dos equipamentos e do ambiente de ensaio.

O ensaio é realizado com o módulo dentro de uma câmara escura (simulador) com uma lâmpada que dispara *flashes* de 10 a 20 milissegundos. É realizada a conexão de cabos no simulador para realização da polarização do módulo, coletando os sinais de tensão e corrente da amostra. Os dados são confrontados

com a irradiância e a temperatura obtida pelo sensor e então é determinada a curva e a potência da amostra.

5.1.1.4 ISOLAMENTO ELÉTRICO DA AMOSTRA

Durante o ensaio de isolamento elétrico, o LABORATÓRIO A avalia a ruptura dielétrica no material em ambiente seco.

Então é realizado o curto-circuito nos cabos para aplicação da tensão máxima, observado o acréscimo normativo e a tensão declarada pelo fabricante do módulo sob teste. A resistência do módulo é medida, quando a tensão máxima estiver aplicada.

Posteriormente na segunda etapa do ensaio, o laboratório aplica apenas a tensão recomendada pelo fabricante da amostra. Esta avaliação tem o objetivo de identificar se após o estresse sofrido anteriormente, com a tensão maior do que a recomendada aplicada, a amostra sofreu algum dano ou ruptura na isolação.

5.1.1.5 RESISTÊNCIA AO ISOLAMENTO ELÉTRICO EM CONDIÇÕES DE UMIDADE.

Para avaliação do teste de isolamento em condições de umidade, os testes são os mesmos. Contudo uma das amostras, neste caso, é exposta à uma solução que possui condutividade e tensão superficial padrão e temperatura da água controlada.

A condição desta exposição, depende das características de construção da amostra, se parcialmente ou completamente vedada. Com estas características informadas o laboratório decide por imergir a amostra na solução, ou dispor a solução na estrutura vedada do módulo.

5.1.2 ACOMPANHAMENTO REMOTO DA METODOLOGIA UTILIZADA PELO LABORATÓRIO B

No dia 13 de maio de 2021, foi realizada uma reunião remota, contanto com a participação dos técnicos e responsáveis pelo laboratório B onde, via transmissão ao vivo e remota, foi possível acompanhar a condução dos ensaios previstos na metodologia vigente (Portaria número 004, de 04 de janeiro de 2011. Anexo I).

Durante a transmissão o laboratório utilizou duas amostras distintas, somente por praticidade e conveniência.

5.1.2.1 TRATAMENTO PRÉVIO DAS AMOSTRAS

O processo de pré-condicionamento obrigatório pela regulamentação vigente é realizado na área externa do laboratório, onde é realizada a disponibilização dos módulos, por tempo indeterminado, a depender das condições climáticas disponíveis. Após atingir as condições mínimas, a amostra segue internamente para

ser submetida aos demais ensaios do módulo avaliado, de acordo com o anexo I da portaria número 004 de janeiro de 2011.

5.1.2.2 INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS

A inspeção visual é realizada considerando que o ambiente escolhido pelo laboratório atenda os critérios mínimos normativos, para avaliação precisa de defeitos visuais do equipamento. A iluminação do ambiente deve ser de no mínimo 1000 lux, de acordo com a normalização internacional. O laboratório B, realiza a inspeção visual na parte interna do laboratório, utilizando luzes artificiais e lupas adequadas, e monitora a intensidade luminosa, utilizando um luxímetro não calibrado e registra por meio de fotos e evidências, caso seja observado qualquer dano importante.

5.1.2.3 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA DAS AMOSTRAS

Para a determinação da potência máxima das amostras, o laboratório transfere a amostra que está na sala de inspeção visual, para o laboratório de determinação de potência.

O laboratório B não padroniza a necessidade de climatização da amostra com relação ao ambiente laboratorial, pois o módulo já estava nas instalações internas do laboratório no ensaio anterior.

O ensaio é realizado com o módulo dentro de uma câmara escura (simulador) com uma lâmpada que dispara *flashes* de 10 milissegundos. É realizada a conexão de cabos no simulador para realização da polarização do módulo, coletando os sinais de tensão e corrente da amostra. Os dados são confrontados com a irradiância e a temperatura obtida pelo sensor e então é determinada a curva e a potência da amostra.

5.1.2.4 ISOLAMENTO ELÉTRICO DAS AMOSTRAS

Durante o ensaio de isolamento elétrico, o LABORATÓRIO B avalia a ruptura dielétrica no material em ambiente seco. Então é realizado o curto-circuito nos cabos para aplicação da tensão máxima, observado o acréscimo normativo e a tensão declarada pelo fabricante do módulo sob teste. A resistência do módulo é medida, quando a tensão máxima estiver aplicada.

Posteriormente na segunda etapa do ensaio, o laboratório aplica apenas a tensão recomendada pelo fabricante da amostra. Esta avaliação tem o objetivo de identificar se após o estresse sofrido anteriormente, com a tensão maior do que a recomendada aplicada, a amostra sofreu algum dano ou ruptura na isolação.

5.1.2.5 RESISTÊNCIA AO ISOLAMENTO ELÉTRICO EM CONDIÇÕES DE UMIDADE.

Para avaliação do teste de isolamento em condições de umidade, os testes são os mesmos. Contudo uma das amostras, neste caso é exposta à uma solução que possui condutividade padrão e temperatura da água controlada.

A condição desta exposição, depende das características de construção da amostra, se parcialmente ou completamente vedada. Com estas características informadas o laboratório decide por imergir a amostra na solução, ou dispor a solução na estrutura vedada do módulo.

5.1.3 RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DO ACOMPANHAMENTO REMOTO DOS ENSAIOS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Os resultados dos ensaios não foram utilizados nesta etapa da pesquisa, portanto, não há como evidenciar por meio de dados consolidados que as discrepâncias observadas interferem ou não interferem na disponibilização dos resultados.

De acordo com o acompanhamento realizado e descrito anteriormente, foi possível identificar pequenas discordâncias entre os métodos observados, que serão apresentadas e discutidas a seguir.

5.1.3.1 INSPEÇÃO VISUAL COM A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO CALIBRADO x NÃO CALIBRADO.

É sabido que no âmbito laboratorial, quando se diz respeito à aplicação da norma ABNT NBR ISO IEC 17025, todos os critérios são indispensáveis para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Contudo, alguns temas têm uma certa particularidade, dentre os critérios normativos. Um deles é a rastreabilidade metrológica por exemplo, mencionada como tema principal do requisito 6.5 da atual versão (2017) desta norma, bem como possui um documento normativo exclusivo, dada a importância, denominado NIT-DICLA -030, disponibilizado pela Divisão de acreditação de laboratórios (DICLA), aos organismos de avaliação da conformidade.

O Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, Primeira Edição Luso – Brasileira, 2012, Tradução do International Vocabulary of Metrology Basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2012) define rastreabilidade metrologia como:

Propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição (VIM).

Tal cadeia ininterrupta deve ser estabelecida, mantida e documentada pelo laboratório, assegurando que estes resultados são rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI), por meio de algumas ferramentas, mencionadas na ABNT NBR ISO IEC 17025 (2017), como por exemplo:

- a. Calibração provida por um laboratório competente (que atenda aos requisitos da norma mencionada); ou
- b. Valores certificados de materiais de referência certificados, providos por um produtor competente, com declaração de rastreabilidade metrológica ao SI; ou
- c. Realização direta das unidades do SI que sejam asseguradas por comparação, direta ou indiretamente com padrões nacionais ou internacionais.

Quando a rastreabilidade metrológica não for tecnicamente possível, o laboratório deve demonstrar a rastreabilidade metrológica a uma referência apropriada, como por exemplo:

- a. Valores certificados de materiais de referência certificados, providos por um produtor competente.
- b. Resultados de procedimentos de medição de referência, métodos especificados ou normas de consenso que sejam claramente descritas e aceitas como meio de fornecer resultados de medição adequados ao uso pretendido e assegurados por comparação adequada.

É notável com a descrição dos itens acima, que no caso de utilização de equipamentos dentro do processo de medição laboratorial, a calibração do mesmo deverá ser mantida, quando for tecnicamente possível. Garantindo assim que as contribuições de incerteza de medição e os resultados obtidos estejam relacionadas à uma referência apropriada e rastreável.

Anteriormente foi possível constatar durante o acompanhamento remoto do ensaio de Inspeção visual, que há um pré-requisito mínimo de iluminação ambiente, a ser seguido para dar início a inspeção, de 1000 lux. A utilização desta iluminação é regulamentada para que a ação do técnico em buscar defeitos visuais da amostra, seja facilitada e para que o ambiente escolhido para realização desta etapa do processo de avaliação da conformidade, seja executada de forma correta e eficaz.

É correto afirmar que a utilização de equipamentos calibrados em todas as etapas do sistema, transfere ao processo de medição, rigorosidade e confiabilidade, além de garantir a rastreabilidade metrológica em todos os estágios. Contudo, não é possível afirmar que, exclusivamente para este caso, a utilização de um equipamento não calibrado, será prejudicial ao produto da avaliação da conformidade, interferindo nos resultados das medições e inspeções. Pois durante o acompanhamento remoto aos ensaios realizados pelo LABORATÓRIO B, foi possível verificar que o ambiente designado à esta etapa do processo, possui iluminação artificial instalada e posicionada para que toda a estrutura do módulo seja observada de forma eficaz.

5.1.3.2 INSPEÇÃO VISUAL UTILIZANDO FONTES DE LUZ NATURAL X ARTIFICIAL

A utilização de fontes de luz e ambientes diversificados, para realização de um dos ensaios do processo de avaliação da conformidade dos módulos fotovoltaicos, foi observada durante o acompanhamento remoto dos ensaios, onde foi possível constatar que, durante a realização da inspeção visual das amostras, o LABORATÓRIO A posiciona as amostras em ambiente externo, analisa a iluminação do ambiente externo com equipamento adequado e realiza a inspeção visual das amostras, a fim de constatar se não há nenhum dano que possa afetar o desempenho da amostra nos demais ensaios.

Já o LABORATÓRIO B, posiciona as amostras em ambiente interno, específico e confeccionado para este fim exclusivamente, analisa a iluminação do ambiente interno e realiza a inspeção visual das amostras, a fim de constatar se não há nenhum dano que possa afetar o desempenho da amostra nos demais ensaios.

Apesar da sistemática distinta observada durante o acompanhamento remoto, entre os dois laboratórios, durante o ensaio de inspeção visual das amostras, não é possível afirmar que a não homogeneidade das práticas, inviabiliza ou prejudica os resultados disponibilizados, já que os objetivos de ambas as condutas, são exatamente as mesmas.

Como durante o acompanhamento remoto, as amostras utilizadas, não foram as mesmas, devido à dificuldade logística em função da pandemia (COVID-19), não foi possível demonstrar, por meio deste processo de observação remota, se os resultados das inspeções foram diferentes entre si, bem como não é possível demonstrar que, se houver uma possível diferença entre resultados, em caso de comparação com uma mesma amostra, esta diferença é resultante do ambiente escolhido para a inspeção. Considerando que a inspeção é completamente interpretativa, podendo variar dentro de um mesmo ambiente, utilizando a mesma amostra, no mesmo período, com técnicos diferentes por exemplo, ou até mesmo, considerando um mesmo ambiente, a mesma amostra com o mesmo técnico em períodos ou situações diferentes.

Observando o cenário, fica clara a necessidade e importância da especificação e determinação de todos os danos, que devem ser observados e pontuados durante a inspeção, além da prática de registrar por meio de fotos e evidências a situação da amostra no momento da inspeção, tal como é definido no item 8 da IEC 61215-1 Principais Defeitos Visuais (Major Visual Defects) e, agora pertencente ao item 5.1.1 do regulamento técnico da qualidade para equipamentos para geração de energia fotovoltaica, consulta pública, número 16 de 2021.

5.1.3.3 CLIMATIZAÇÃO DA AMOSTRA COMO PRÉ-REQUISITO DA DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA

Embora sejam previstas condições padrão de ensaio (STC – Standard Test Conditions) especificadas na norma IEC 60904-3 Photovoltaic Devices - Part 3: Measurement Principles for Terrestrial Photovoltaic (PV) Solar Devices with Reference Spectral Irradiance Data (Dispositivos fotovoltaicos - Parte 3: Princípios de medição para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (PV) com dados de irradiância espectral de referência), que correspondem à irradiância de 1000 W/m², temperatura de célula de 25°C, espectro 1.5 AM e incidência normal da radiação, foi testemunhado durante o acompanhamento remoto dos ensaios, que após a finalização da inspeção visual e definição da conformidade da amostra para seguir os demais testes, duas metodologias distintas estão sendo aplicadas, para preparação do ensaio de determinação de potência máxima.

No LABORATÓRIO A, onde a inspeção visual é realizada em área externa, com a utilizando de luz solar natural, ao ser finaliza a inspeção, a amostra é transferida para as instalações do laboratório. Na seção interna, a amostra fica em repouso, pelo prazo mínimo de 24 horas, processo realizado para que ocorra a climatização da amostra com relação a temperatura laboratorial controlada. Durante o acompanhamento, foi mencionado que a climatização foi padronizada para evitar variações bruscas de temperatura, que estava anteriormente exposto à luz, radiação e temperaturas variadas, a depender das condições climáticas no momento da avaliação.

No LABORATÓRIO B, onde a inspeção visual é realizada em área interna, com a utilizando de luz artificial, ao ser finaliza a inspeção, a amostra é transferida para as instalações do laboratório específico para determinação de potência máxima. Nesta seção, a amostra não fica em repouso. Considerando que a temperatura laboratorial é controlada, então a climatização não foi padronizada internamente e, portanto, não é realizada.

Novamente é indispensável ressaltar que as amostras utilizadas durante o acompanhamento remoto eram distintas e, conseqüentemente, não há oportunidade de garantir, utilizando estes dados interpretativos, que a inconciliabilidade entre as metodologias dos laboratórios A e B, seja completamente inconveniente. Da mesma maneira que, não é plausível declarar que a não homogeneidade entre os métodos não gera nenhum impacto aos resultados dos ensaios.

5.1.3.4 SOLUÇÃO PARA IMERSÃO DA AMOSTRA NA AVALIAÇÃO DO ISOLAMENTO ELÉTRICO EM CONDIÇÕES DE UMIDADE, CONSIDERANDO A TENSÃO SUPERFICIAL PADRÃO

Para avaliar o isolamento do módulo fotovoltaico em condições de umidade, o laboratório deve submeter a amostra à uma solução aquosa, que deverá atingir uma resistividade e temperatura adequadas, definidas na IEC 61215-2, para ponderação

da capacidade do módulo em resistir e impedir que à umidade de chuva, orvalho ou neve derretida, acesse às partes do circuito do módulo, o que pode causar corrosão, falha de aterramento ou risco à segurança.

Durante à execução destes ensaios, uma solução de água deve ser preparada para atingir os critérios de desempenho do ensaio. Foi percebida, durante a supervisão remota que as soluções utilizadas para realização do mesmo ensaio são diferenciadas.

O LABORATÓRIO A prepara a solução de ensaio, fundamentado em atingir níveis ideais de condutividade, tensão superficial e temperatura, conforme indicado na versão anterior da IEC 61215 versão 2005, item 10.15.

No item normativo 10.15 da versão de 2005, determinava que a solução para imersão do módulo em uma posição plana e horizontal, fosse preparada com água e agente umectante de forma a obter uma resistividade padrão, tensão superficial menor ou igual a $0,03 \text{ N.m}^{-1}$ e temperatura padrão de 22°C , podendo variar 3°C para mais ou para menos.

O LABORATÓRIO B prepara a solução de ensaio, com a finalidade de alcançar níveis ideais de condutividade e temperatura da água, sem considerar a tensão superficial da solução, conforme indicado na versão anterior da IEC 61215 versão 2016, o qual estabelecia que para o mesmo ensaio, a solução de imersão do módulo, fosse preparada com água e agente umectante de forma a obter uma resistividade padrão e temperatura padrão de 22°C , podendo variar apenas 2°C para mais ou para menos.

É de conhecimento geral que a regulamentação vigente para os ensaios realizados em território nacional, não acompanhou o desenvolvimento das normas internacionais, até o presente momento, onde está sendo considerada uma grande revisão. Ainda assim, este desacordo com relação à solução de água utilizada no ensaio de isolamento elétrico em condições de umidade, pode ser demonstrado como exemplo prático de que, mesmo em atendimento aos critérios normativos vigentes, duas metodologias diferentes foram aplicadas para um mesmo ensaio.

É relevante mencionar que aplicação de uma tensão superficial padrão, passou a não ser mais obrigatória nas versões posteriores da IEC 61215, conforme destacado anteriormente. Sendo assim, pode-se afirmar que as duas instituições estão em conformidade à regulamentação internacional e nacional.

Assim como as situações anteriores, neste caso também não podemos presumir que as diferenças de métodos têm ou não consequências importantes nos resultados emitidos.

5.2 ANÁLISE TEÓRICA COMPARATIVA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS

Neste capítulo, estão apresentados os detalhes da comparação teórica, com o intuito de descrever a relação dos ensaios previstos em cada um dos documentos.

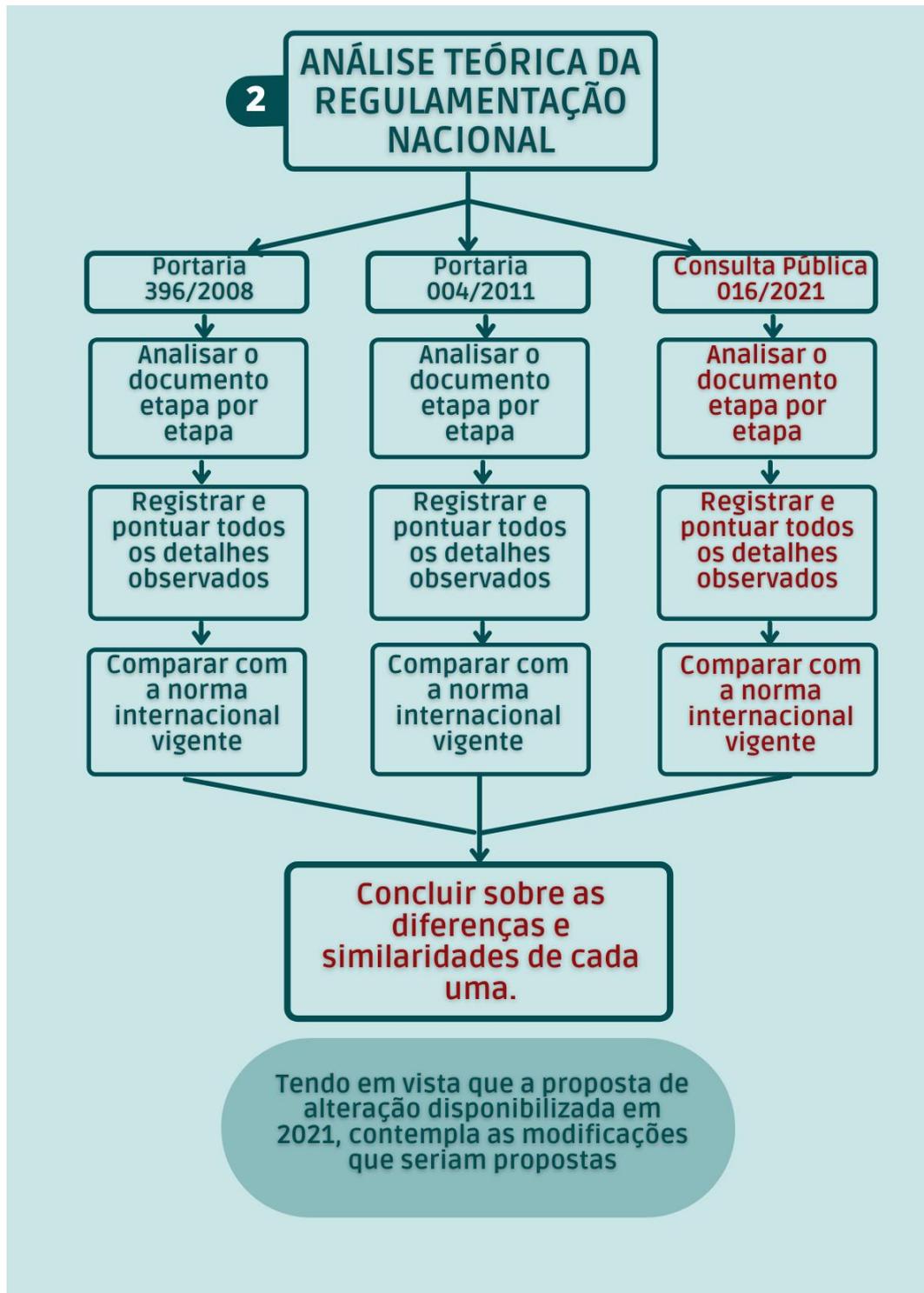
É importante ressaltar que todos os dados técnicos, como o número de amostras e quantidade de ensaios aqui mencionados são determinados pelos critérios das regulamentações mencionadas.

A análise comparativa das regulamentações, já aplicadas aos ensaios de qualificação de módulos fotovoltaicos, foi realizada com princípios teóricos, com o intuito de identificar diferenças pontuais ou relevantes dentre as versões disponíveis desde 2008 no Brasil.

Para esta análise, foi utilizada a versão da portaria anterior, 396 de 10 de novembro de 2008, a versão da portaria atual 004 de 04 de janeiro de 2011 e, levando em consideração que em abril de 2021, foi disponibilizada aos laboratórios e instituições interessadas, uma nova versão, ainda não oficial, para a regulamentação técnica da qualidade para equipamentos de geração de energia fotovoltaica, incluindo os requisitos de avaliação da conformidade para os mesmos itens, uma avaliação comparativa foi realizada, com o intuito de pontuar integralmente as substituições, desde as mais irrelevantes, até as modificações mais técnicas e significativas com destino à aplicação.

A Figura 18 demonstra o fluxograma efetivo relacionado à análise da regulamentação de avaliação da conformidade em módulos fotovoltaicos.

FIGURA 18 – FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS EFETUADAS PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL



FONTE: Autora

5.2.1 PORTARIA 396 DE 2008, REGULAMENTO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA.

A portaria 396 de 10 de novembro de 2008 que instituiu no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade, a etiquetagem voluntária de sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, descrevia em seu anexo I, as normas e procedimentos para ensaios em módulos fotovoltaicos de Silício cristalino (mono-Si ou multi-Si) dentro do escopo do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro.

A portaria era baseada nas seguintes normas internacionais, sendo que alguns itens não foram considerados e outros foram modificados para regulamentação nacional:

- a. IEC 61215 e (International Electrotechnical Commission). – Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval.
- b. IEC 1701 - Salt Mist Corrosion of Photovoltaic (PV) Modules.

A portaria 396 de 2008, determinava a necessidade de disponibilização de 7 módulos fotovoltaicos, do mesmo modelo e características, que seriam selecionados de forma aleatória pelo pessoal técnico dos laboratórios responsáveis pelos ensaios.

Todos os 7 módulos disponibilizados, passavam pela verificação inicial, que consiste na realização da inspeção visual, desempenho nas condições padrão de teste e isolamento elétrico. O objetivo do ensaio de inspeção visual era a detecção de defeitos nos módulos e deveria ser executada exatamente conforme o item 10.1 da norma IEC 61215 (na época a versão disponível era a IEC 61215:2005).

A realização da análise de desempenho nas condições padrão de teste, tinha como objetivo a determinação das características elétricas do módulo, considerando as condições padrão de teste (STC – Standard Test Conditions: 25°C; AM 1,5; 1000W/m²), sendo efetuado exatamente de acordo com o item 10.2 da norma IEC 61215 vigente na época.

Para finalizar a verificação inicial era realizada a análise do isolamento, que era executado conforme o item 10.3 da norma IEC 61215. Posteriormente, após análise inicial de todas as amostras disponíveis, os demais ensaios deveriam ocorrer paralelamente, conforme especificado a seguir:

Uma das amostras era armazenada para controle posterior se houvesse a necessidade de qualquer reavaliação ou análise. Um conjunto de 2 módulos era submetido à seguinte sequência de ensaios:

- Ciclo término: Para testar a resistência dos módulos às tensões e à fadiga causadas por variações de temperatura. Conforme item 10.11 da norma IEC 61215, em 50 ciclos. Neste caso a faixa de temperatura foi modificada para inclusão na portaria, sendo definida entre -10°C a +85°C.
- Umidade e Congelamento: Realizado para determinar a resistência das amostras a condições de alta temperatura e umidade, seguidas por

temperaturas baixas, em 10 ciclos conforme item 10.12, com a faixa de temperatura também modificada (-10°C a + 85°C).

- Robustez dos Conectores: Visando determinar a resistência dos conectores submetidos a esforços mecânicos, conforme item 10.14 da IEC 61215.
- Torção: Conforme o item 10.15 da mesma norma, para testar a possibilidade de ocorrência de defeitos nas amostras, em decorrência de montagens em estruturas de fixação desalinhadas.

Uma amostra isolada do lote de módulos era destinada ao ensaio de ciclo térmico, exatamente conforme ensaio mencionado anteriormente. Contudo, desta vez realizado em 200 ciclos e não apenas 50 ciclos.

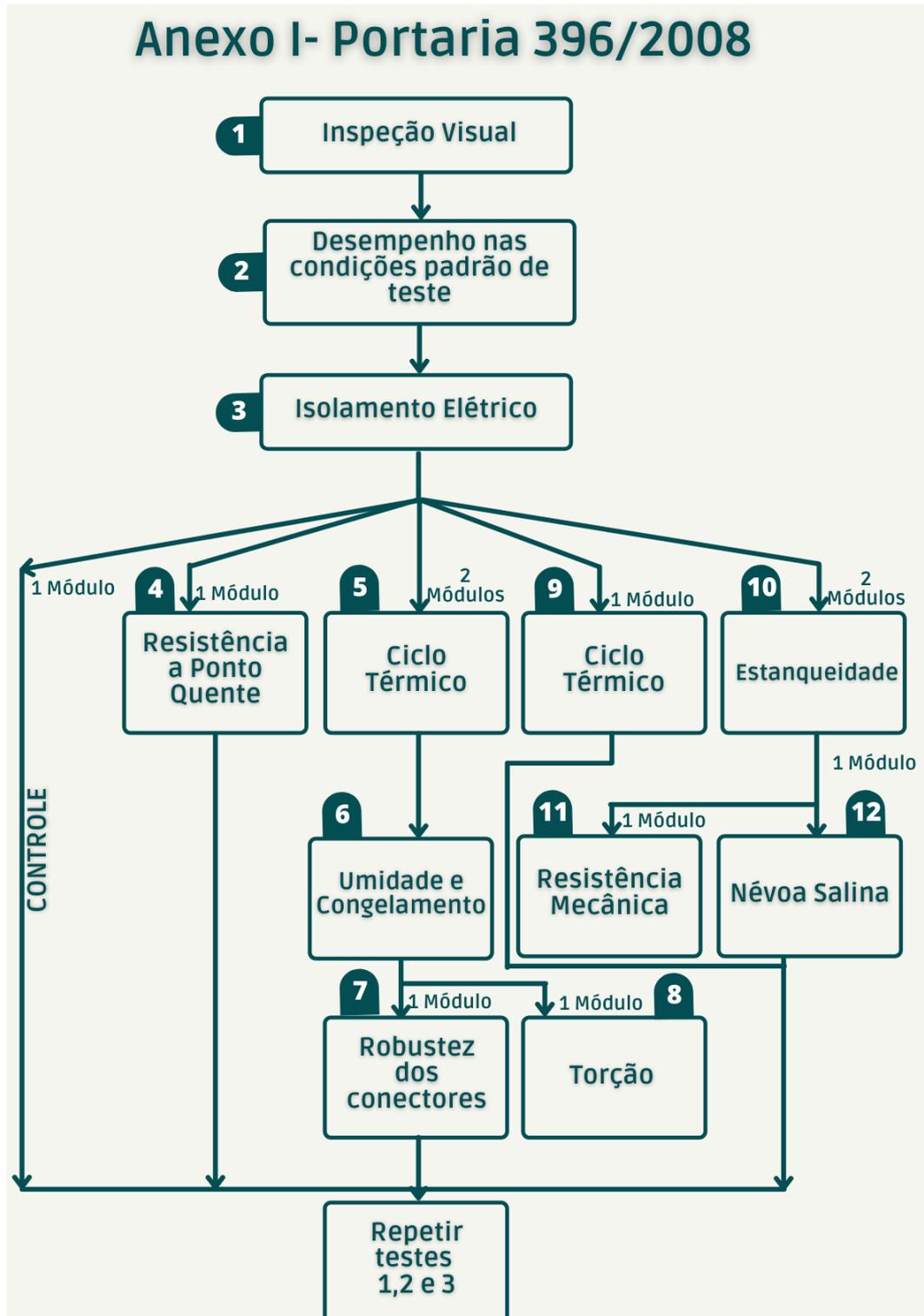
Paralelamente, um novo conjunto com dois outros módulos selecionados era submetido à sequência de testes 10 e 11/12, que consiste nos ensaios de estanqueidade, resistência mecânica e névoa salina. O ensaio de estanqueidade era realizado com o intuito de verificar a resistência do módulo à penetração de água (umidade) a temperaturas elevadas e longo prazo (1000h), conforme definido no item 10.13 da norma IEC 61215. Já o ensaio de resistência mecânica era utilizado para testar a resistência da amostra a cargas mecânicas (2400Pa) que eram aplicadas à superfície do módulo (10.16 da norma IEC 61215). Para determinação da resistência à corrosão, o ensaio de névoa salina era efetuado de acordo com os critérios específicos da norma 1701 - Salt Mist Corrosion of Photovoltaic (PV) Modules.

A última amostra do lote de 7 módulos deveria ser submetida ao teste de resistência a ponto quente. Contudo, em virtude de a especificação deste teste não ter sido definida pelo GT-FOT, no momento da publicação da portaria 396 de 2008, ficou definido que o módulo destinado a este ensaio também passaria a fazer parte das amostras para controle, ou seja, o teste de resistência a ponto quente não foi considerado na portaria, mas foi mencionado, para uma posterior avaliação de definição das especificações técnicas.

Posteriormente, todas as 7 amostras eram novamente submetidas aos testes realizados inicialmente para verificação final e conclusão da avaliação dos módulos fotovoltaicos.

A Figura 19 a seguir, demonstra o fluxograma com a disposição e relação dos ensaios previstos no anexo específico para módulos fotovoltaicos, da portaria número 396 de 2008.

FIGURA 19 – FLUXOGRAMA COM A RELAÇÃO DOS ENSAIO DE QUALIFICAÇÃO PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS, ESTABELECIDOS PELA PORTARIA 396 DO ANO DE 2008.



FONTE: Autora, adaptado da portaria 369 de 2008.

5.2.2 PORTARIA 004 DE 2011, REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA SISTEMAS E EQUIPAMENTOS PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A portaria 004 em vigor desde o dia 04 de janeiro de 2011, tem como objetivo principal estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, por meio do mecanismo de etiquetagem compulsória, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem, visando à eficiência energética e adequado nível de segurança.

O documento dispõe de todos os requisitos de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica e posteriormente em seus anexos, estão especificados os requisitos técnicos para cada equipamento, com a relação de ensaios e informações complementares. Como é o caso do anexo I, para módulos fotovoltaicos, onde são apresentados os procedimentos para os ensaios de módulos fotovoltaicos de silício cristalino e filmes finos dentro do escopo do PBE do Inmetro.

A estrutura do anexo I do regulamento, conta com a utilização das seguintes normas técnicas internacionais como referências:

- IEC 61215 - Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval
- IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval

Para execução dos ensaios definidos na portaria 004/2011 é necessária a seleção de duas amostras do mesmo modelo e características, sendo que a responsabilidade pela seleção e envio do kit de amostras é do fornecedor.

Todos os dois módulos são submetidos à quatro testes inicialmente, são eles:

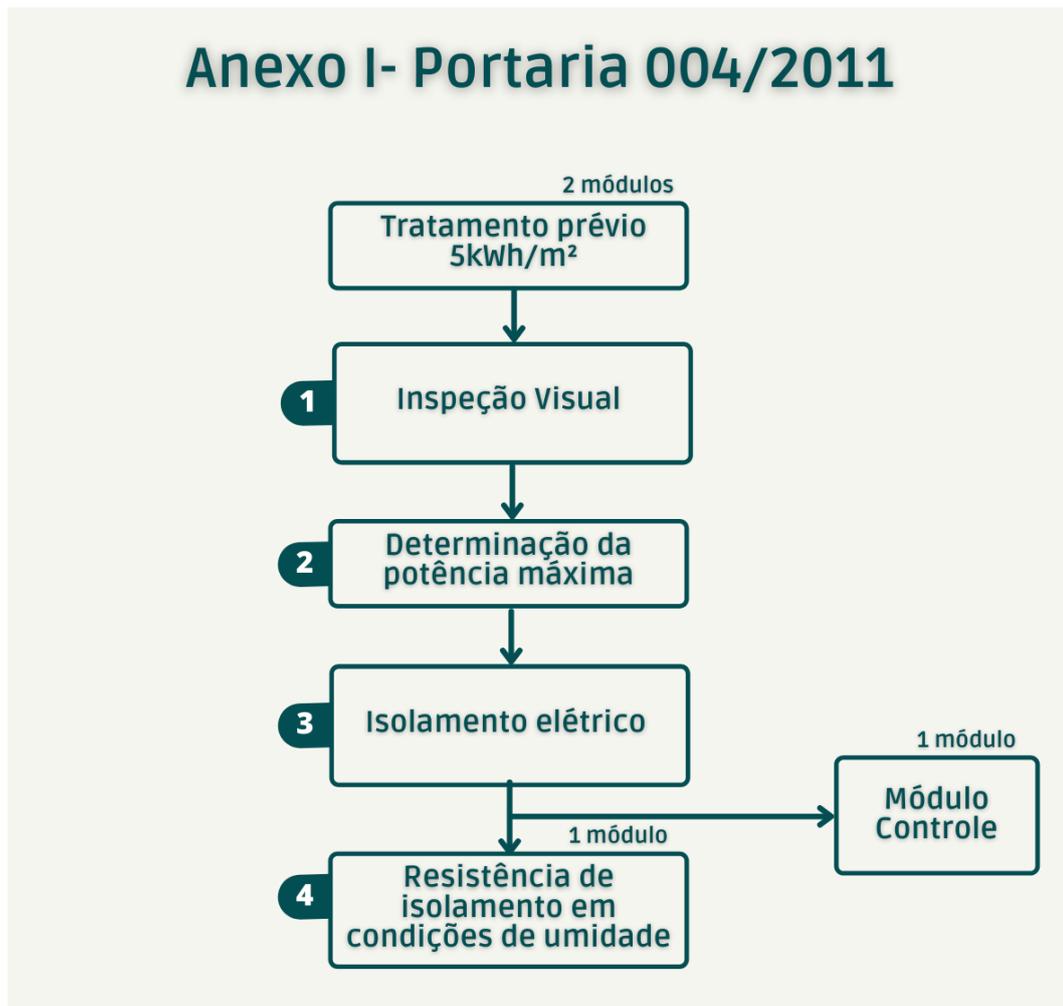
- Tratamento prévio de 5kWh/m²;
- Inspeção Visual, para detecção visual de possíveis defeitos nos módulos. Efetuada conforme item 10.1 da norma IEC 61215;
- Desempenho nas Condição Padrão de Teste (25°C; AM 1,5; 1000W/m²), para determinar as características elétricas do módulo. Efetuada conforme item 10.2 da norma IEC 61215;
- Isolamento Elétrico, que verifica o isolamento elétrico do módulo e sua moldura metálica e é efetuada exatamente conforme especificado no item 10.3 da norma IEC 61215.

Na sequência, a partir da conclusão dos testes mencionados, um dos módulos será submetido ao ensaio de isolamento em condições de umidade, efetuado conforme o item 10.15 da norma IEC 61215 e o outro será mantido como unidade controle.

O regulamento técnico menciona em seu anexo I, que a execução dos demais ensaios, para avaliação de degradação, constantes nas normas IEC 61215 e IEC 61646 serão objeto de estudo para futura inserção nos procedimentos.

A Figura 20, a seguir, apresenta um fluxograma com a relação dos ensaios específicos para módulos fotovoltaicos, previstos no primeiro anexo disponível na regulamentação, portaria de número 004 de 2011.

FIGURA 20 – FLUXOGRAMA COM A RELAÇÃO DOS ENSAIOS DE QUALIFICAÇÃO PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS, ESTABELECIDOS PELA PORTARIA 004 DO ANO DE 2011.



FONTE: Autora, adaptado da portaria 004 de 2011.

5.2.3 CONSULTA PÚBLICA NÚMERO 16 DE 2021, PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DOS REQUISITOS DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA EQUIPAMENTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.

A proposta de alteração dos requisitos de avaliação da conformidade para equipamentos para geração de energia fotovoltaica, publicado pela portaria número 004 de 2011, foi disponibilizada para consulta pública em 11 de abril de 2021 por um prazo de 60 dias.

A estrutura do documento conta com um regulamento técnico da qualidade para equipamentos para geração de energia fotovoltaica em seu anexo I, cujo objetivo é estabelecer os requisitos obrigatórios para equipamentos para geração de energia fotovoltaica a serem atendidos por toda cadeia fornecedora do produto no mercado nacional.

Considerando o âmbito laboratorial, os critérios e procedimento para avaliação da conformidade de equipamentos para geração de energia fotovoltaica, com foco na segurança e desempenho, por meio do mecanismo de declaração da conformidade, visando à proteção dos usuários, segurança elétrica e eficiência energética, estão definidos no anexo II.

Finalmente, para aplicação laboratorial, são estabelecidas as disposições dos anexos específicos, no caso dos módulos fotovoltaicos, o anexo específico A, que conta com as seguintes normas como referência de aplicação:

- Anexo I desta Portaria Regulamento Técnico da Qualidade para Equipamentos para Geração de Energia Fotovoltaica.
- ABNT NBR 10899:2020 Energia solar fotovoltaica — Terminologia. IEC 61215-1:2021 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements.
- IEC 61215-1-1:2021 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules.
- IEC 61215-1-2:2021 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-2: Special requirements for testing of thin-film Cadmium Telluride (CdTe) based photovoltaic (PV) modules.
- IEC 61215-1-3:2021 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-3: Special requirements for testing of thin-film amorphous silicon based photovoltaic (PV) modules.
- IEC 61215-1-4:2021 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-4: Special requirements for testing of thin-film Cu (In,Ga)(S,Se)₂ based photovoltaic (PV) modules.
- IEC 61215-2:2021 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures.
- IEC 61730-2:2016 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing.

Para realização dos ensaios devem ser coletadas 3 unidades de módulos por família (mesma unidade fabril, mesmos materiais construtivos e tecnologia de célula fotovoltaica, mesmas dimensões e mesmo número de células fotovoltaicas no caso do módulo de silício cristalino). Sendo que uma delas será destinada como amostra controle.

As duas amostras de módulos selecionadas, devem ser submetidas à sequência de ensaios iniciais demonstradas pela Tabela 2, considerando que para determinação das características elétricas dos módulos devem ser realizados nas condições padrão de teste (25°C, AM 1.5 e 1000W/m²).

TABELA 2 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS INICIAIS (2 AMOSTRAS).

| Ensaio/ Verificação | Procedimento | | Etapas de Avaliação da Conformidade | | |
|---|------------------|--------|---|--|---|
| | Base Normativa | Item | Inicial | Manutenção | Renovação |
| | | | Mês 0 | 36 meses | 72 meses |
| 1. Inspeção Visual (MQT 01) | IEC 61215-2:2021 | 4.1 | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família / Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família | Ensaios 1, 2, 3, 4 e 5 no modelo representativo da família | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família / Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família |
| 2. Estabilização Inicial (MQT 19.1) | | 4.19.5 | | | |
| 3. Determinação de Potência Máxima (MQT 02) | | 4.2 | | | |
| 4. Isolamento Elétrico (MQT 03) | | 4.3 | | | |
| 5. Resistência de Isolamento em Condições Úmidas (MQT 15) | | 4.15 | | | |

FONTE: Autora, adaptado de consulta pública número 16 de 11 de abril de 2021.

No ensaio de Inspeção Visual, além de seguir os critérios de aceitação estabelecidos nas normas IEC 61215-2:2021 e IEC 61730-2:2016, os módulos fotovoltaicos utilizados durante os ensaios, não devem apresentar defeitos visuais, tais como:

- a) Superfície externa quebrada, rasgada ou rachada;
- b) Superfície externa envergada ou desalinhada, incluindo-se o substrato, frame ou caixa de junção;
- c) Bolhas ou delaminação;
- d) Evidência de queima ou fusão de quaisquer componentes;
- e) Perda de resistência mecânica que possa afetar a instalação ou operação do módulo fotovoltaico;
- f) Células rachadas ou quebradas de modo a comprometer mais de 10% da área ativa da célula do circuito elétrico do módulo fotovoltaico;

- g) Vazios ou corrosões visíveis em quaisquer das camadas ativas do circuito do módulo fotovoltaico, compreendendo mais de 10% da área de qualquer célula fotovoltaica;
- h) Interconexões, junções ou terminais quebrados;
- i) Curto-circuito entre quaisquer partes alimentadas eletricamente; ou
- j) Presença de corpos estranhos na área ativa do módulo fotovoltaico.

Após a realização dos cinco ensaios nos dois módulos fotovoltaicos selecionados, conforme definição destacada no documento, cada um deles, segue paralelamente para uma sequência específica e distinta, conforme demonstrado na Tabela 3 e Tabela 4 a seguir.

TABELA 3 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS ESPECÍFICOS (1ª AMOSTRA)

| Ensaio/Verificação | Procedimento | | Etapas de Avaliação da Conformidade | | |
|--|------------------|-------|---|--------------|---|
| | Base Normativa | Item | Inicial | Manutenção | Renovação |
| | | | Mês 0 | 36 meses | 72 meses |
| A1. Ensaio de funcionalidade do Diodo de Bypass (MST 25) | IEC 61730-2:2016 | 10.19 | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família / Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família | Não aplicado | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família / Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família |
| A2. Resistência a temperatura (MST 21) | | 10.15 | | | |
| A3. Resistência a pontos quentes (MQT 22) | | 10.16 | | | |
| A4. Sobrecarga de Corrente reversa (MST 26) | | 10.20 | | | |

FONTE: Autora, adaptado de consulta pública número 16 de 11 de abril de 2021.

O diodo de bypass, dispositivo que apenas conduz corrente elétrica no caso de alguma das células às quais está ligado, for sombreada (COUTINHO,2016). É avaliado no ensaio A1 “Ensaio de funcionalidade do Diodo de Bypass”, conforme o Module Safety Test (MST) número 25 da norma de qualificação de segurança IEC 61730-2:2016, devendo manter a funcionalidade do dispositivo em condições críticas de temperatura e de corrente, conforme o item 3.3.3 do anexo específico A da consulta pública 16/2021.

TABELA 4 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS ESPECÍFICOS (2ª AMOSTRA)

| Ensaio/Verificação | Procedimento | | Etapas de Avaliação da Conformidade | | |
|--|------------------|------|--|--------------|--|
| | Base Normativa | Item | Inicial | Manutenção | Renovação |
| | | | Mês 0 | 36 meses | 72 meses |
| B1. Umidade em Temperaturas altas (MQT 13) | IEC 61215-2:2021 | 4.13 | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família | Não aplicado | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família |
| B2. Carga Mecânica estática (MQT 16) | | 4.16 | | | |
| B3. Inspeção Visual (MQT 01) | | 4.1 | | | |

FONTE: Autora, adaptado de consulta pública número 16 de 11 de abril de 2021.

Em seguida, após ser finalizada a realização dos ensaios específicos em cada uma das amostras disponibilizadas, ambas são direcionadas para uma série de ensaios finais (demostrados a seguir pela Tabela 5), para que posteriormente possa ser realizada pelo laboratório, a classificação quanto ao desempenho das amostras de módulos fotovoltaicos disponibilizadas, durante a conversão de energia solar em energia elétrica.

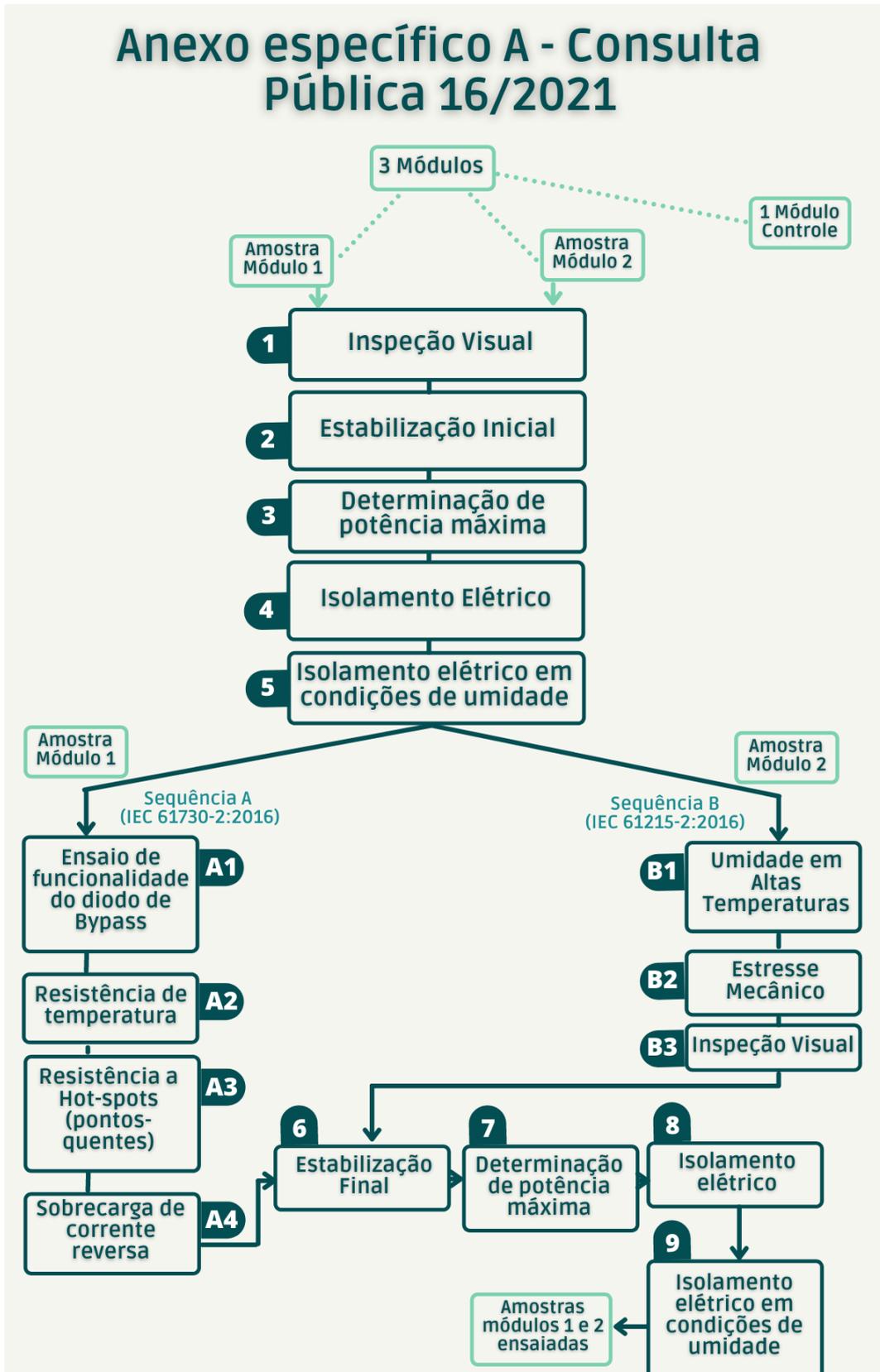
TABELA 5 – DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS FINAIS (2 AMOSTRAS)

| Ensaio/Verificação | Procedimento | | Etapas de Avaliação da Conformidade | | |
|---|------------------|--------|--|--------------|--|
| | Base Normativa | Item | Inicial | Manutenção | Renovação |
| | | | Mês 0 | 36 meses | 72 meses |
| 6. Estabilização Final (MQT 19.2) | IEC 61215-2:2021 | 4.19.6 | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família / Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família | Não aplicado | Todos os ensaios de segurança no modelo representativo da família / Todos os ensaios de desempenho em todos os modelos da família |
| 7. Determinação de Potência máxima (MQT 02) | | 4.2 | | | |
| 8. Isolamento Elétrico (MQT 03) | | 4.3 | | | |
| 9. Resistência de Isolamento em Condições Úmidas (MQT 15) | | 4.15 | | | |

FONTE: Autora, adaptado de consulta pública número 16 de 11 de abril de 2021.

A Figura 21, apresenta um fluxograma detalhado, demonstrando a relação dos ensaios específicos e a sequência definida prevista no anexo específico A (módulos fotovoltaicos) do documento disponível para consulta pública, apresentado anteriormente.

FIGURA 21 – FLUXOGRAMA COM A RELAÇÃO DOS ENSAIOS DE DESEMPENHO PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS, DISPONÍVEIS NO DOCUMENTO DE CONSULTA PÚBLICA NÚMERO 16 DE 2021



FONTE: Autora, adaptado da consulta pública 16 de 2021.

5.2.4 RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DA ANÁLISE TEÓRICA COMPARATIVA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA MÓDULOS FOTOVOLTAÍCOS

A avaliação comparativa, foco principal deste capítulo foi realizada, com o intuito de pontuar diferenças ou similaridades entre as versões de regulamentações disponíveis no Brasil, desde o ano de 2008, onde foi disponibilizada a primeira versão de regulamento relacionado à equipamentos para geração de energia fotovoltaica.

Primeiramente, é importante ressaltar que os critérios gerais aplicáveis aos fornecedores dos equipamentos, ou aplicáveis aos requisitos administrativos do processo de etiquetagem não foram considerados e não serão comentados nesta análise comparativa, considerando que o intuito desta comparação teórica, é justamente avaliar os critérios técnicos e específicos aplicados aos ensaios relacionados exclusivamente aos módulos fotovoltaicos.

A seguir são descritos todos os pontos importantes observados na comparação teórica de cada ensaio realizado.

5.2.4.1 NÚMERO E SELEÇÃO DAS AMOSTRAS UTILIZADAS

O primeiro ponto a considerar na avaliação comparativa é o número e a seleção das amostras utilizadas para realização dos ensaios e etiquetagem, que variou de 7 amostras selecionados aleatoriamente dos depósitos dos fabricantes / fornecedores pelo laboratório que iria realizar os ensaios, em 2008 com a portaria 396, de acordo com a versão vigente da norma IEC 61215 da época que definia este critérios no item 3 (Sampling), para apenas 2 amostras atualmente, disponibilizadas e selecionadas pelo próprio fornecedor ou fabricante (Portaria 004/2011 vigente).

O número de amostras utilizadas é um dos critérios que está sob análise de modificação disponibilizado na consulta pública número 16 de 2021, que determina a seleção de um conjunto de 3 amostras que devem apresentar a mesma unidade fabril, os mesmos materiais construtivos e tecnologia de célula fotovoltaica, mesmas dimensões e mesmo número de células (silício cristalino).

5.2.4.2 APLICAÇÃO DOS ENSAIOS ESPECÍFICOS

Além do número e método de seleção das amostras, as regulamentações também foram atualizadas com relação à necessidade de aplicação de ensaios específicos para módulos fotovoltaicos.

Na versão emitida em 2008 com a portaria 396 era sugerida a realização de 11 ensaios, conforme demonstrado anteriormente na Figura 13, a aplicação do documento na época era realizada por meio de um regime voluntário, ou seja, não obrigatório, por este motivo, considera-se que os ensaios eram sugeridos às instituições interessadas.

Dentre os 11 ensaios previstos, podemos destacar nesta análise comparativa, o ensaio de Torção, anteriormente demonstrado pelo requisito 10.15 da IEC 61215

primeira edição, foi excluído na segunda versão (2005) em virtude de ter sido originalmente desenvolvido para garantir a conformidade com uma montagem projetada pelo sistema JPL Block Buy. Os laboratórios de teste relataram que nenhum tipo de módulo falhou (IEC 61215,2005). Senso assim, a descrição deste ensaio, também não foi considerada na versão vigente da regulamentação nacional.

Considerando ainda os ensaios do documento de 2008, foram observados ensaios previstos e que continuam fazendo parte dos critérios internacionais, por meio da norma IEC 61215:2021. Contudo, não foram inclusos como parte integrante da regulamentação revisada em 2011 (Portaria 004/2011), documento vigente até o presente momento, são eles:

- Ciclo térmico
- Umidade e congelamento;
- Robustez dos conectores;
- Estanqueidade; e
- Resistência mecânica.

Dos cinco ensaios destacados anteriormente, é importante ressaltar que apenas os ensaios intitulados: Estanqueidade e Resistência mecânica, foram adicionados na proposta de correção da regulamentação disponibilizada para consulta pública número 16/2021, com base nos ensaios internacionais MQT 13 Damp-heat-test e MQT 16 Static Mechanical Load Test, determinados pela norma IEC 61215-2021.

Os ensaios de ciclo térmico, umidade e congelamento e robustez dos conectores previstos anteriormente, também continuam fazendo parte dos requisitos internacionais atualizados (MQT 14), mas não é mencionado na portaria 004/2011, nem mesmo na proposta de correção da portaria 004/2011.

Levando em consideração a proposta de alteração disponibilizada para consulta pública número 16 de 2021, com a inclusão de diversos ensaios e considerações importantes, demonstrados a seguir:

- Estabilização Inicial;
- Ensaio de funcionalidade do Diodo Bypass;
- Resistência à temperatura;
- Resistência à pontos quentes;
- Sobrecarga de corrente reversa;
- Umidade em temperaturas altas;
- Carga mecânica estática; e
- Estabilização Final.

Fica demonstrada a necessidade e importância da realização eficaz dos ensaios de desempenho realizados em módulos fotovoltaicos, de modo a avaliar minuciosamente aspectos técnicos de conformidade dos equipamentos disponibilizados no mercado de acordo com a utilização de requisitos internacionais

previamente discutidos e disponibilizados aos organismos de avaliação da conformidade em todo o mundo.

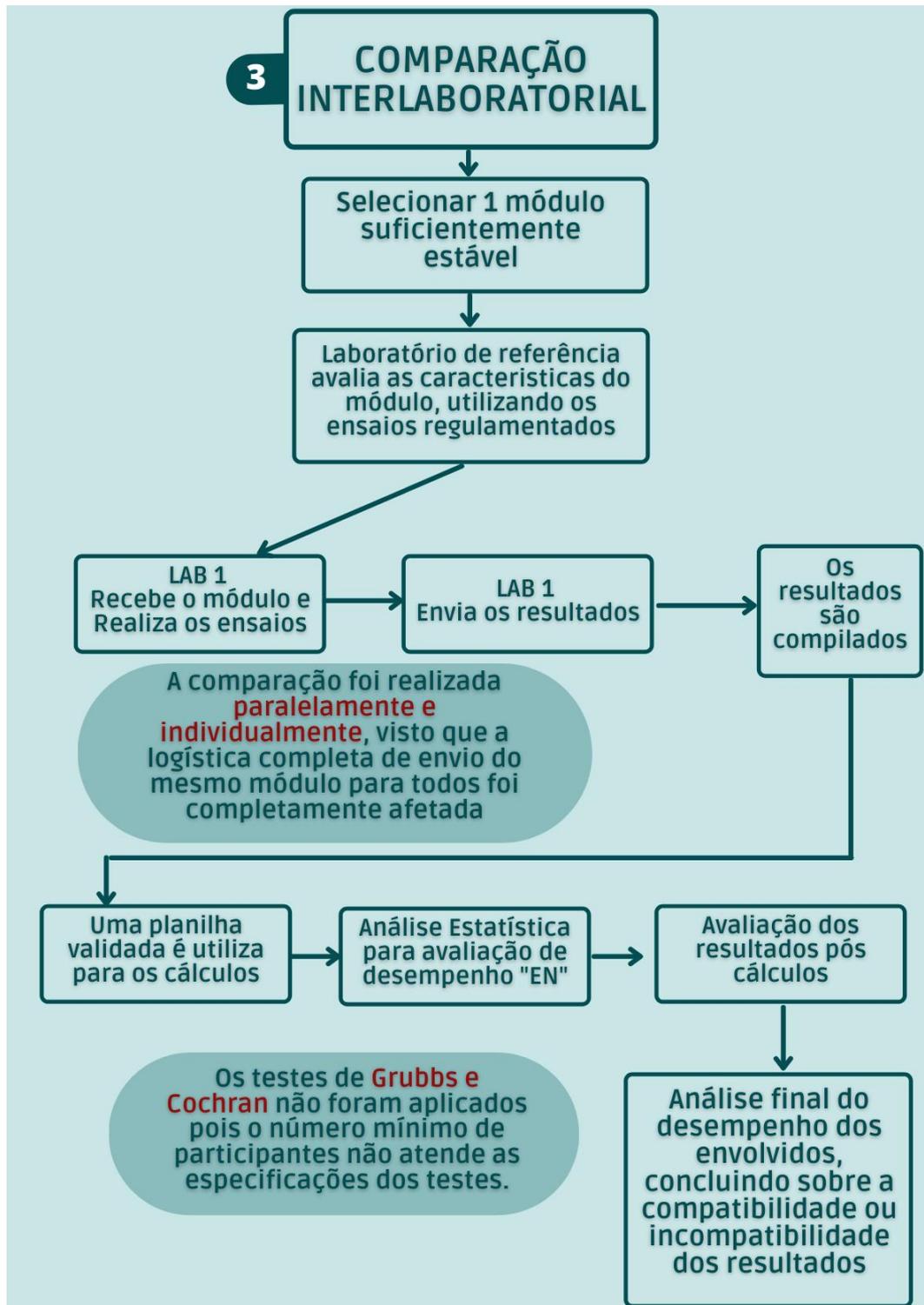
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS DA AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA E COMPARAÇÃO INTERLABORATORIAL

A comparação interlaboratorial foi realizada com o intuito de comparar estatisticamente os resultados de dois laboratórios distintos, de forma a identificar se os resultados disponibilizados pelas duas instituições são ou não são compatíveis entre si. Determinando o desempenho dos participantes por meio da comparação dos resultados de avaliação da conformidade com o valor designado estabelecido pelo provedor, seguindo as orientações da norma ABNT NBR ISO/IEC 17043, que regulamenta os requisitos gerais para ensaios de proficiência e na norma ISO 13528 que fornece descrições detalhadas de métodos estatísticos utilizados para esquemas de ensaios de proficiência e análise de dados obtidos. O documento também oferece recomendações sobre a interpretação dos dados das comparações que podem ser aplicados para demonstrar que os resultados das medições obtidas pelos laboratórios, organismos de inspeção e indivíduos atendem aos critérios especificados para o desempenho aceitável na área de atuação ou análise.

Para os serviços de avaliação da conformidade relacionados ao escopo da comparação, necessários para a determinação do valor designado, foi utilizado um laboratório de ensaios com capacidade de medição adequada a avaliação da conformidade do módulo fotovoltaico.

A Figura 22 demonstra o fluxograma efetivo relacionado à comparação interlaboratorial realizada e a avaliação estatística aplicada.

FIGURA 22 – FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS EFETUADAS PARA A ANÁLISE TEÓRICA RELACIONADA À REGULAMENTAÇÃO NACIONAL



FONTE: Autora

5.3.1 ANÁLISE DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A análise do critério de avaliação comparativa e de desempenho foi obtida por meio dos resultados da equação do erro normalizado (1), (ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011):

$$E_n = \frac{x_{lab} - X_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

Onde:

- x_{lab} : resultado obtido pelo laboratório a ser avaliado;
- X_{ref} : valor designado com base nos resultados do laboratório de referência;
- U_{lab} : Incerteza Expandida de Medição do laboratório a ser avaliado;
- U_{ref} : Incerteza Expandida de Medição do valor designado.

Neste caso o desempenho do laboratório foi avaliado considerando os critérios específicos definidos para o parâmetro utilizado:

- Se o resultado da equação (1) for $(|E_n| \leq 1,0)$, o desempenho é considerado “Satisfatório”;
- Se o resultado da equação (1) for $(|E_n| > 1,0)$, o desempenho é considerado “Insatisfatório”.

Quando se relata o resultado de medição de uma grandeza física deve-se sempre dar alguma indicação quantitativa da qualidade do resultado, de forma que aqueles que o utilizam possam avaliar sua confiabilidade. Sem essa indicação, resultados de medição não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência fornecidos numa especificação ou numa norma. É, portanto, necessário que exista um procedimento que seja de pronta aplicação, fácil compreensão e ampla aceitação para caracterizar a qualidade de um resultado de uma medição, isto é, para avaliar e expressar sua incerteza (INMETRO-GUM, 2008).

A palavra “incerteza” significa dúvida, e assim, no sentido mais amplo, “incerteza de medição” significa dúvida acerca da validade do resultado de uma medição. Devido à falta de palavras diferentes para esse conceito geral de incerteza, e para as grandezas específicas que proporcionam medidas quantitativas do conceito, como, por exemplo, o desvio-padrão, é necessário utilizar a palavra “incerteza” nestas duas acepções diferentes (INMETRO - GUM, 2008).

O conceito de incerteza como um atributo quantificável é relativamente novo na história da medição, embora erro e análise de erro tenham sido, há muito, uma parte da prática da ciência da medição ou metrologia. É agora amplamente reconhecido que, quando todos os componentes de erro conhecidos ou presumidos tenham sido avaliados e as correções adequadas tenham sido aplicadas, ainda

permanece uma incerteza sobre quão correto é o resultado declarado, isto é, uma dúvida acerca de quão corretamente o resultado da medição representa o valor da grandeza que está sendo medida (INMETRO - GUM, 2008).

Na prática, existem muitas fontes possíveis de incerteza em uma medição, incluindo:

- a) definição incompleta do mensurando;
- b) realização imperfeita da definição do mensurando;
- c) amostragem não representativa – a amostra medida pode não representar o mensurando definido;
- d) conhecimento inadequado dos efeitos das condições ambientais sobre a medição ou medição imperfeita das condições ambientais;
- e) erro de tendência pessoal na leitura de instrumentos analógicos;
- f) resolução finita do instrumento ou limiar de mobilidade;
- g) valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
- h) valores inexatos de constantes e de outros parâmetros obtidos de fontes externas e usados no algoritmo de redução de dados;
- i) aproximações e suposições incorporadas ao método e procedimento de medição;
- j) variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas.

Essas fontes de contribuições não são necessariamente independentes e algumas das fontes de a) até i) podem contribuir para a fonte j). Naturalmente, um efeito sistemático não identificado não pode ser levado em consideração na avaliação da incerteza do resultado de uma medição, porém contribui para seu erro (INMETRO - GUM, 2008).

As incertezas de medição estimadas tanto pelo laboratório de referência, quanto pelo laboratório participante foram calculadas considerando o guia de expressão de incerteza, primeira edição do BIPM do ano de 2008. Contudo as contribuições que cada instituição considerou para estimar os valores mencionados para incerteza de medição em cada um dos parâmetros avaliados, são tratadas como informações confidenciais e intransferíveis.

Os resultados dos laboratórios para cada um dos mensurandos, bem como as incertezas declaradas, foram codificados e analisados criticamente.

A seguir a tabela 6 demonstra de forma resumida os resultados obtidos por meio da comparação entre os laboratórios, posteriormente, os resultados obtidos para cada parâmetro analisado são apresentados individualmente, assim como o valor designado e os resultados da avaliação do desempenho. Os resultados são exibidos respeitando a formatação adotada pelos laboratórios na apresentação dos resultados. As regras de arredondamento são aplicadas somente na declaração final dos resultados.

TABELA 6 – RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA CADA PARÂMETRO ANALISADO NA COMPARAÇÃO ENTRE OS LABORATÓRIO.

| Parâmetro avaliado / Unidade de medida | Resultado do Participante | Valor Designado | Incerteza Expandida de Medição do Participante | Incerteza de Medição do Valor Designado | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos v_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|--|---------------------------|-----------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| ISC (A) | 0,29010 | 0,29000 | 0,0084 | 0,005 | 2,00 | ∞ | 0,01 |
| VOC (V) | 22,46000 | 22,54000 | 0,33 | 0,14 | 2,00 | ∞ | 0,22 |
| IMPP (A) | 0,27160 | 0,27100 | 0,33 | 0,01 | 2,00 | ∞ | 0,00 |
| VMPP (V) | 18,19000 | 18,33000 | 0,27 | 0,19 | 2,00 | ∞ | 0,42 |
| PMPP (W) | 4,94000 | 4,96000 | 0,16 | 0,09 | 2,00 | ∞ | 0,11 |
| FF (%) | 75,80000 | 76,09000 | 0,04 | 1,07 | 2,00 | ∞ | 0,27 |
| η (%) | 7,47000 | 7,51000 | 0,31 | 0,15 | 2,00 | ∞ | 0,12 |

FONTE: Autora.

5.3.1.1 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE CORRENTE EM CURTO-CIRCUITO (ISC).

O parâmetro ISC refere-se ao valor da corrente máxima que o módulo solar pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e temperatura correspondentes a um valor de tensão nula e, conseqüentemente, potência nula (BERTO,2021).

A Tabela 7 a seguir, apresenta os resultados obtidos para o parâmetro avaliado de corrente em curto-circuito. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,01, o que representa que a avaliação de desempenho aponta um resultado satisfatório ao laboratório participante.

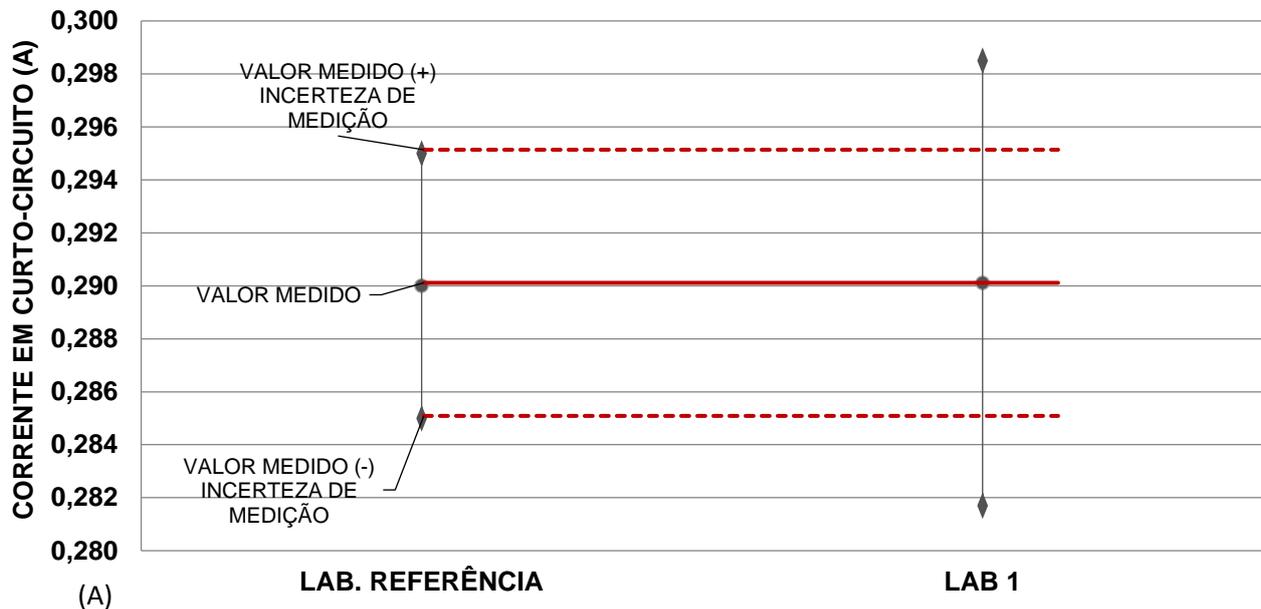
O gráfico 1 demonstra comparativamente a situação do laboratório em relação a referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição.

TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – CORRENTE EM CURTO-CIRCUITO (ISC) – UNIDADE DE MEDIDA (A).

| Resultado do Participante (A) | Valor Designado (A) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (A) | Incerteza de Medição do Valor Designado (A) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos v_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 0,29010 | 0,29000 | 0,0084 | 0,005 | 2,00 | ∞ | 0,01 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 1- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE CORRENTE EM CURTO-CIRCUITO (ISC) – UNIDADE DE MEDIDA (A).



FONTE: Autora

5.3.1.2 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE TENSÃO EM CIRCUITO ABERTO (VOC).

É o valor de tensão máxima (V_{oc}) que o módulo solar pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e de temperatura, correspondentes a uma circulação de corrente com valor nulo e, conseqüentemente potência nula (BERTO, 2021).

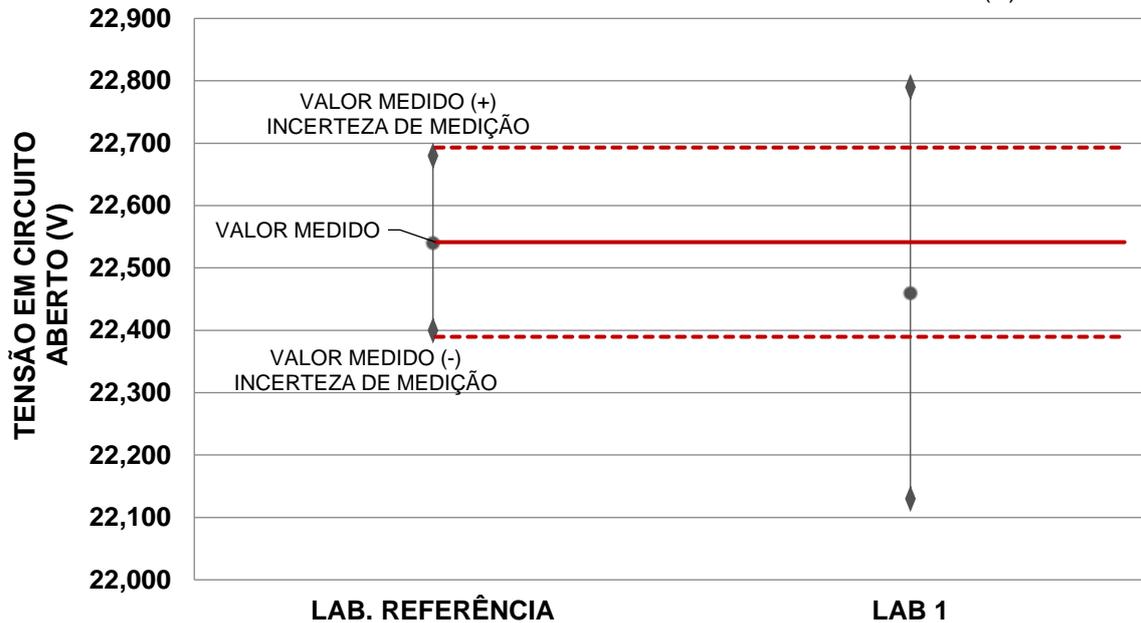
A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro de tensão em circuito aberto (V_{oc}) e o gráfico 2 mostra comparativamente a situação do laboratório a referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição calculada por cada um dos laboratórios. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,22, o que representa que a avaliação de desempenho aponta um resultado satisfatório ao laboratório participante.

TABELA 8 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – TENSÃO EM CIRCUITO ABERTO (V_{oc}) – UNIDADE DE MEDIDA (V).

| Resultado do Participante (V) | Valor Designado (V) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (V) | Incerteza de Medição do Valor Designado (V) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos ν_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 22,46000 | 22,54000 | 0,33 | 0,14 | 2,00 | ∞ | 0,22 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 2- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE TENSÃO EM CIRCUITO ABERTO – UNIDADE DE MEDIDA (V).



FONTE: Autora

5.3.1.3 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE CORRENTE EM MÁXIMA POTÊNCIA (IMPP).

Corrente de máxima potência (I_{mpp}): É o valor da corrente que é entregue a uma carga à máxima potência, sob determinadas condições de radiação e temperatura (BERTO,2021).

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro avaliado de corrente em máxima potência. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,00, o que representa um resultado satisfatório ao laboratório participante.

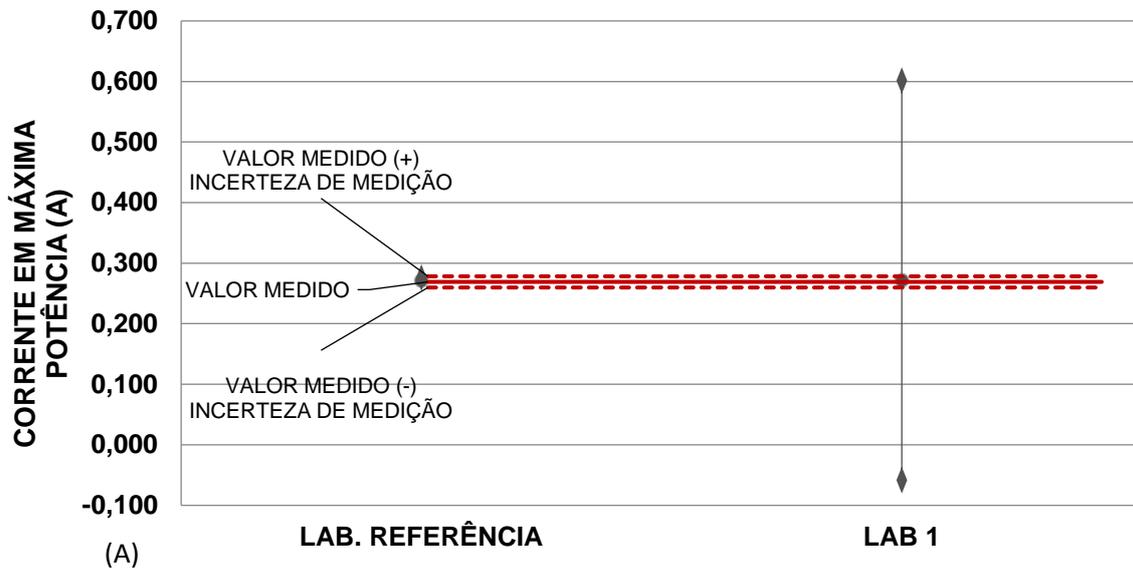
O gráfico 3 mostra comparativamente a situação do laboratório avaliado em relação ao laboratório de referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição calculada por cada um dos laboratórios.

TABELA 9 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – CORRENTE EM MÁXIMA POTÊNCIA (IMPP)– UNIDADE DE MEDIDA (A).

| Resultado do Participante (A) | Valor Designado (A) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (A) | Incerteza de Medição do Valor Designado (A) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos ν_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 0,27160 | 0,27100 | 0,33 | 0,01 | 2,00 | ∞ | 0,00 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 3- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE CORRENTE EM MÁXIMA POTÊNCIA (IMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (A).



FONTE: Autora

5.3.1.4 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMPP).

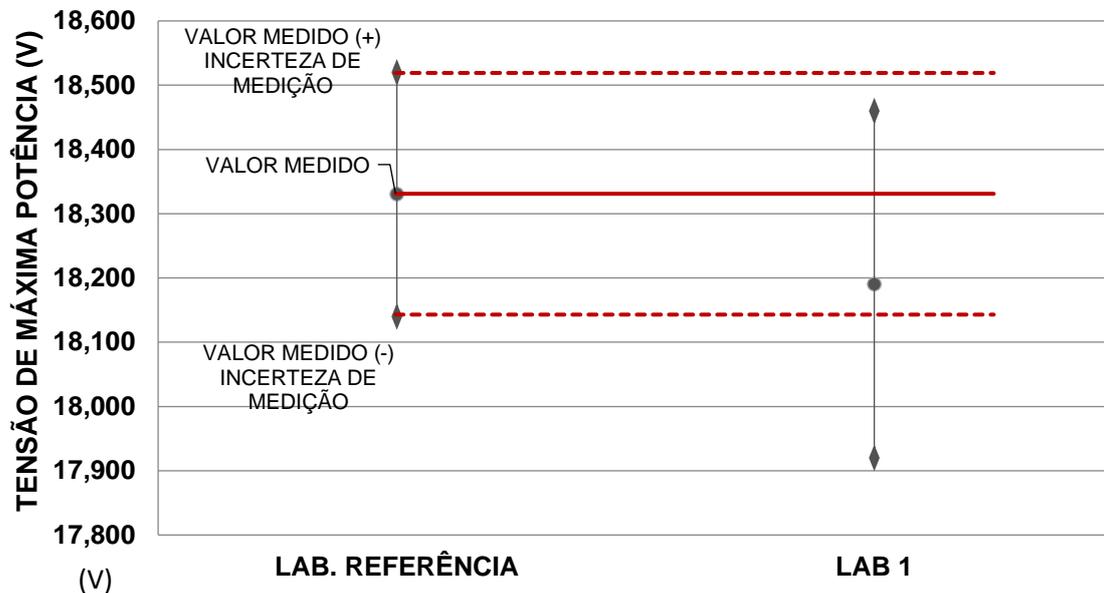
Tensão de máxima potência (V_{mpp}): É o valor da tensão que é entregue à carga máxima de potência, sob determinadas condições de radiação e temperatura. (BERTO,2021). A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro avaliado de tensão de máxima potência e o gráfico 4 apresenta comparativamente a situação do laboratório avaliado em relação ao laboratório de referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição calculada por cada um dos laboratórios. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,42, o que representa que a avaliação de desempenho aponta um resultado satisfatório ao laboratório participante.

TABELA 10 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (V).

| Resultado do Participante (V) | Valor Designado (V) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (V) | Incerteza de Medição do Valor Designado (V) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos ν_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 18,19000 | 18,33000 | 0,27 | 0,19 | 2,00 | ∞ | 0,42 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 4- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE TENSÃO DE MÁXIMA POTÊNCIA (VMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (V)



FONTE: Autora

5.3.1.5 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE POTÊNCIA MÁXIMA FORNECIDA PELO MÓDULO FOTOVOLTAICO (PMPP).

P_{max} ou P_{mpp} (Wp) nominal max power ou potência nominal ou potência de pico: É o valor máximo de potência que se pode entregar a uma carga e corresponde ao ponto da curva no qual o produto tensão x corrente é máximo, ou seja é a potência na máxima geração do painel solar fotovoltaico (BERTO,2021).

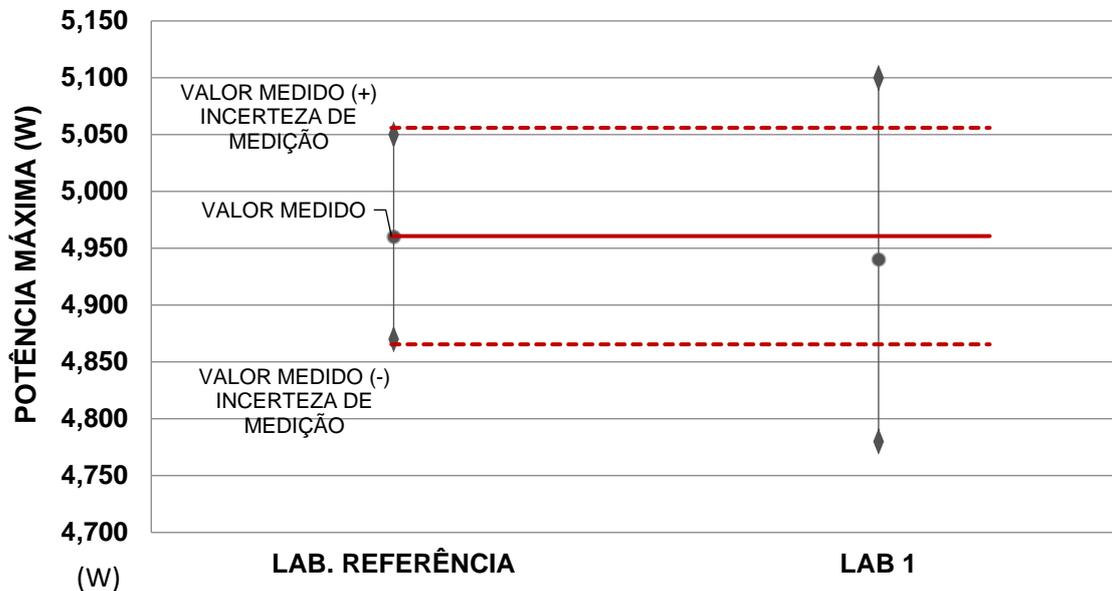
A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro avaliado de potência máxima (P_{mpp}) e o gráfico 5 mostra comparativamente a situação do laboratório avaliado em relação ao laboratório de referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição calculada por cada um dos laboratórios. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,11, o que representa que a avaliação de desempenho aponta um resultado satisfatório ao laboratório participante.

TABELA 11 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO – POTÊNCIA DE MÁXIMA (PMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (W)

| Resultado do Participante (W) | Valor Designado (W) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (W) | Incerteza de Medição do Valor Designado (W) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos v_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 4,94000 | 4,96000 | 0,16 | 0,09 | 2,00 | ∞ | 0,11 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 5- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO DE POTÊNCIA MÁXIMA (PMPP) – UNIDADE DE MEDIDA (W).



FONTE: Autora

5.3.1.6 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE PERCENTUAL DE FATOR DE FORMA (FF).

O fator de forma (FF) é uma grandeza que expressa quanto a curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama (I-V). Quanto melhor a qualidade das células no módulo mais próxima da forma retangular será sua curva (GRIMONI,2019).

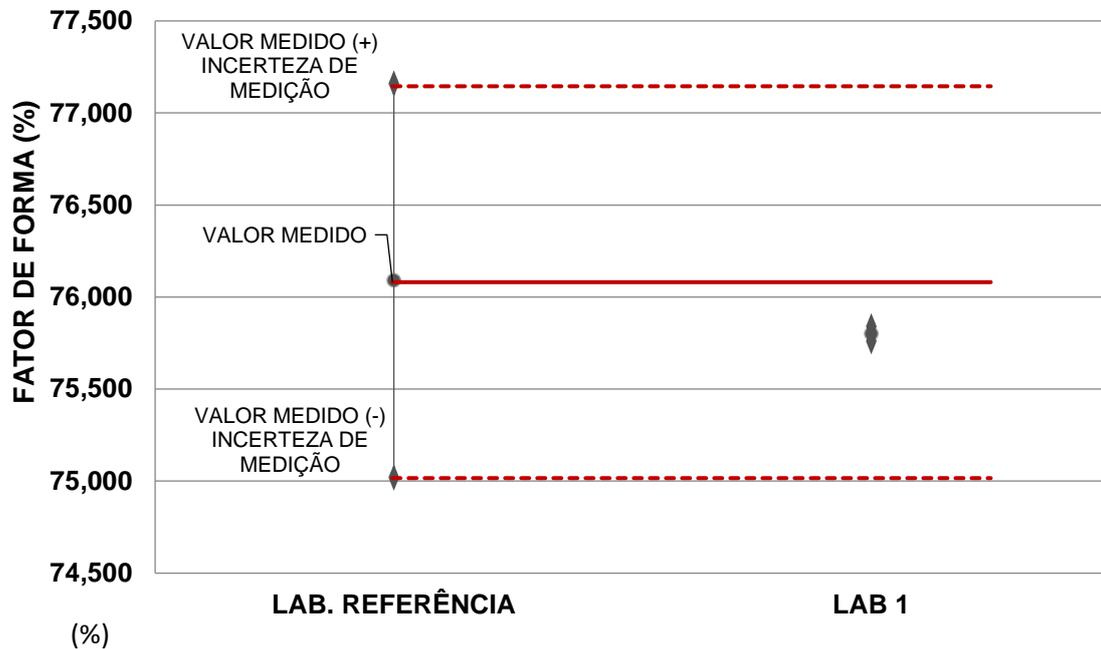
A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro avaliado do percentual de fator de forma (FF) e o gráfico 6 mostra comparativamente a situação do laboratório avaliado em relação ao laboratório de referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição calculada por cada um dos laboratórios. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,27, o que representa que a avaliação de desempenho aponta um resultado satisfatório ao laboratório participante.

TABELA 12 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO DE FATOR DE FORMA (FF) – UNIDADE DE MEDIDA (%)

| Resultado do Participante (%) | Valor Designado (%) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (%) | Incerteza de Medição do Valor Designado (%) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos v_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 75,80000 | 76,09000 | 0,04 | 1,07 | 2,00 | ∞ | 0,27 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 6- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO PERCENTUAL (%) DE FATOR DE FORMA (FF).



FONTE: Autora

5.3.1.7 ANÁLISE RELACIONADA AO PARÂMETRO DE PERCENTUAL DE EFICIÊNCIA DO MÓDULO (η)

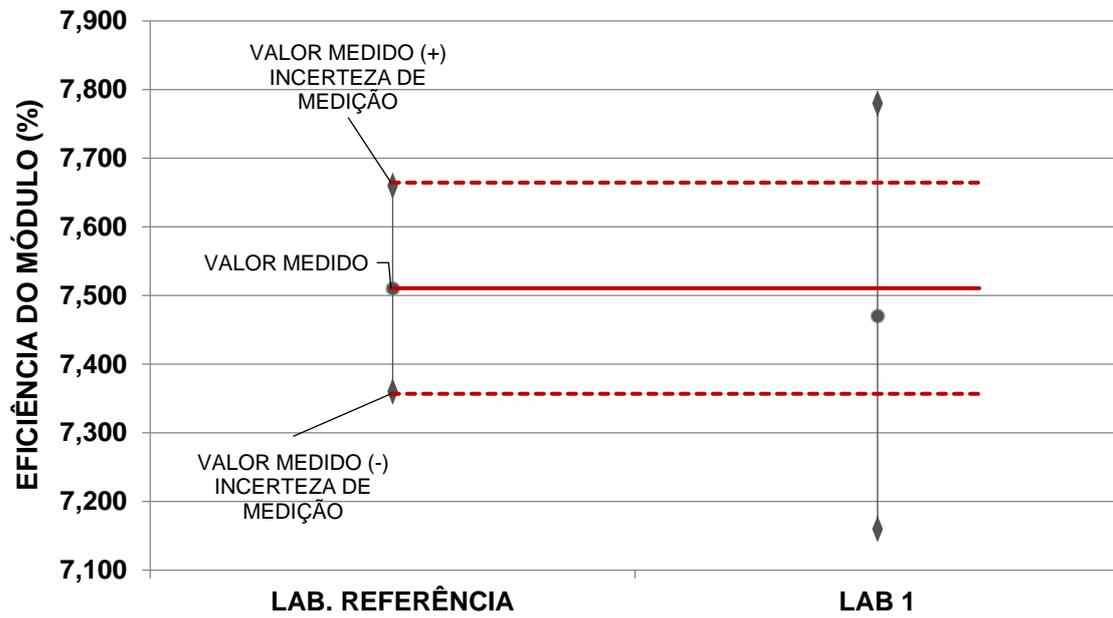
A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos para o parâmetro avaliado do percentual de eficiência do módulo fotovoltaico (η) e o gráfico 7 mostra comparativamente a situação do laboratório avaliado em relação ao laboratório de referência, demonstrando o valor medido associado à incerteza de medição calculada por cada um dos laboratórios. Onde o valor do erro normalizado é igual 0,12, o que representa que a avaliação de desempenho aponta um resultado satisfatório ao laboratório participante.

TABELA 13 – RESULTADOS OBTIDOS PARA O PARÂMETRO DE EFICIÊNCIA DO MÓDULO – UNIDADE DE MEDIDA (%)

| Resultado do Participante (%) | Valor Designado (%) | Incerteza Expandida de Medição do Participante (%) | Incerteza de Medição do Valor Designado (%) | Fator k do Valor Designado | Graus de Liberdade Efetivos v_{eff} do Valor Designado | Erro Normalizado |
|-------------------------------|---------------------|--|---|----------------------------|--|------------------|
| 7,47000 | 7,51000 | 0,31 | 0,15 | 2,00 | ∞ | 0,12 |

FONTE: Autora.

GRÁFICO 7- AVALIAÇÃO COMPARATIVA RELACIONADA AOS RESULTADOS DO PARÂMETRO PERCENTUAL (%) DE EFICIÊNCIA DO MÓDULO (η).



FONTE: Autora

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho referiu-se a um monitoramento teórico, comparativo e estatístico vinculado aos ensaios de qualificação de módulos fotovoltaicos, que são equipamentos pertencentes ao sistema de geração renovável de energia solar, e que vem apresentando destaque com relação às demais fontes de geração de energia no Brasil. Este monitoramento se faz necessário, tendo em vista a importância da garantia da qualidade e do desempenho dos módulos fotovoltaicos, bem como de cada etapa do processo de monitoramento e confiabilidade dos ensaios realizados nestes equipamentos do sistema de geração de energia solar.

Considerando o objetivo principal deste trabalho, analisar e comparar os resultados de avaliação da conformidade e desempenho de módulos fotovoltaicos entre laboratórios que atuam neste escopo, de forma a validar a legislação vigente que regulamenta estes ensaios, foram utilizados três parâmetros de avaliação crítica deste processo: a análise relacionada à metodologia utilizada pelas instituições, realizada por meio de um monitoramento remoto e específico, direcionado à aplicação de interpretações e detalhes observados durante a realização dos ensaios regulamentados; a avaliação teórica relacionada à padronização destes ensaios, de forma comparativa e; a análise estatística direcionada a fim de avaliar o desempenho dos envolvidos e concluir sobre os resultados emitidos até o presente momento.

Durante todo o processo de monitoramento proposto, várias limitações foram identificadas, principalmente relacionados às graves consequências da pandemia da COVID-19. O isolamento social indispensável para evitar e reduzir as contaminações do vírus teve como consequência a paralização das atividades presenciais por um longo período de tempo, o que interrompeu de forma parcial a comparação, que seria realizada entre um número mais representativo de instituições, além de remodelar os métodos que seriam aplicados de forma presencial durante o monitoramento das metodologias por exemplo.

Ademais, um dos produtos da pesquisa, definido inicialmente, como a apresentação de uma proposta com as sugestões de melhorias relacionadas à regulamentação para padronização dos ensaios específicos, foi interrompida, visto que após dez anos da disponibilização da portaria 004 de janeiro de 2011, em abril de 2021, foi previamente providenciada uma versão que está sob consulta pública, com propostas de modificações, incluindo as correções que devem ser atualizadas na versão atual do documento, melhorando significativamente a criticidade do documento e estabelecendo critérios demasiadamente importantes, no ponto de vista da avaliação da conformidade e qualidade no geral.

Levando em consideração todos os objetivos específicos propostos para realização deste trabalho, a comparação das metodologias de organismos de avaliação da conformidade, por meio de acompanhamento remoto dos ensaios, evidenciou variações pontuais nos métodos utilizados, apesar de ambas serem compatíveis com a regulamentação aplicável atualmente, conforme análise crítica

realizada entre as metodologias e a portaria número 004 do ano de 2011 que regulamenta os ensaios em módulos fotovoltaicos no país.

Considerando os parâmetros estatísticos utilizados para o monitoramento efetivo nos resultados do processo de avaliação da conformidade dos módulos fotovoltaicos, durante a realização de uma comparação interlaboratorial, utilizando a realização dos mesmos ensaios em uma mesma amostra, os resultados disponibilizados por uma instituição designada no Brasil, em comparação com os dados de uma instituição referência no assunto, são estatisticamente compatíveis, ou seja, apresentam desempenho satisfatório.

No entanto, os resultados emitidos pela instituição designada, apesar de compatíveis estatisticamente e confirmados, demonstrando desempenho satisfatório (parâmetro erro normalizado menor ou igual a 1,0 o que indica compatibilidade entre os resultados) para todos os ensaios realizados, com a aplicação do parâmetro do erro normalizado, ainda apresentam diferenças significativas relacionadas à incerteza de medição calculada para cada processo de medição. Fato que está sendo analisado criticamente pela instituição responsável, que possui a análise técnica de todas as contribuições relacionadas para estimativa do valor, com o intuito de considerar de forma gradualmente mais eficaz as contribuições de incertezas relacionadas à cada medição em si. É importante ressaltar que as diferenças mencionadas não afetaram o desempenho satisfatório e a confirmação da confiabilidade dos resultados demonstrados pela instituição.

Além das análises críticas mencionadas, uma comparação foi efetuada com o intuito de analisar de forma crítica e comparativa a regulamentação anterior, vigente e a proposta de atualização, onde foram observadas alterações importantes no processo desde o ano de 2008. Contudo o maior destaque desta etapa comparativa está relacionado à proposta de atualização normativa deste ano (2021), que propõe maior rigorosidade nas condições e nos ensaios propriamente mencionados.

Tendo em vista, todas as análises realizadas e pontuadas, foi concluído com embasamento estatístico que há compatibilidade entre os organismos de avaliação da conformidade. Fato que confirma que a utilização de um monitoramento comparativo eficaz e periódico, considerando não apenas os resultados declarados, mas incluindo as metodologias aplicadas e detalhes comumente não observados, podem ser utilizados para validar, conferir legitimidade e evitar dúvidas e questionamentos com relação ao processo completo, cujo principal objetivo é a avaliação da conformidade com foco na garantia da validade dos resultados obtidos e disponibilizados.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se como trabalho futuro a realização da comparação entre todos os laboratórios atuantes no escopo de qualificação em módulos fotovoltaicos, uma vez que a avaliação de desempenho é um mecanismo indispensável para a garantia da

validade dos resultados laboratoriais, transferindo confiabilidade aos resultados emitidos. O que irá conferir ao processo, independentemente dos resultados obtidos, confiabilidade, melhoria contínua e monitoramento efetivo dos resultados disponibilizados no mercado nacional.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO/IEC 17043:2011 Avaliação da conformidade — Requisitos gerais para ensaios de proficiência.

ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.

ABNT NBR ISO 5725-1:2018 Exatidão (veracidade e precisão) dos métodos e dos resultados de medição. Parte 1: Princípios gerais e definições.

ABNT NBR ISO 5725-2:2018 Exatidão (veracidade e precisão) dos métodos e dos resultados de medição. Parte 2: Método básico para a determinação da repetibilidade e da reprodutibilidade de um método-padrão de medição

ABNT NBR ISO 5725-3:2018 Exatidão (veracidade e precisão) dos métodos e dos resultados de medição. Parte 3: Medidas intermediárias da precisão de um método-padrão de medição

ABNT NBR ISO 5725-4:2018 Exatidão (veracidade e precisão) dos métodos e dos resultados de medição. Parte 4: Métodos básicos para determinação da veracidade de um método-padrão de medição

ABNT NBR ISO 5725-5:2018 Exatidão (veracidade e precisão) dos métodos e dos resultados de medição. Parte 5: Métodos alternativos para a determinação da precisão de um método-padrão de medição

ABNT NBR ISO 5725-6:2018 Exatidão (veracidade e precisão) dos métodos e dos resultados de medição. Parte 6: Uso na prática de valores de exatidão

ALBANO, Filipe de Medeiros. Desenvolvimento de melhorias no processo de provisão de ensaios de proficiência por comparação interlaboratorial, 2016.

ARNDT, Regan; PUTO, Robert. Basic understanding of IEC standard testing for photovoltaic panels. TÜV SÜD Prod. Serv, 2010.

Balanço Energético Nacional – BEN de 2019, tendo como base o ano de 2018, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

BERTO, Alessandra. Módulos fotovoltaicos – Parâmetros técnicos, 2021. Disponível em: <https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-fotovoltaicos-parametros-tecnicos/>. Acesso em 19 de agosto de 2021.

BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza; GABRIEL, Camila Pires Cremasco; GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida. Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil. Revista Científica ANAP Brasil, v. 8, n. 12, 2015.

COUTINHO, Carlos Roberto. O efeito do sombreamento e diodos de bypass em módulos fotovoltaicos. Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Informe Nº9 Programa Brasileiro de Etiquetagem para sistemas fotovoltaicos de energia. Ano IX. Novembro 2004.

DAMIA SOLAR. Importância e significado dos valores VMP, VOC, ISC e IMP de um painel solar. Blog Artigos sobre energia solar e seus componentes, 2015 Disponível em: https://www.damiasolar.com/apresentar/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/significado-dos-valores-vmp-voc-isc-e-imp_1. Acesso em 19 de agosto de 2021.

FERMAM, Ricardo Kropf Santos et al. A acreditação como ferramenta da sustentabilidade tecnológica e industrial do Brasil. 2010.

GEBERT, Alice; MULLER, Rafaela; CASAGRANDE, Deise. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Feira Regional de Matemática, v. 1, n. 1, 2017.

GRIFFITH, J., Summary of Block I (46 kW) Module Testing, JPL Document 5101-27, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, May 2, 1977.

GRIFFITH, J., Environmental Testing of Block II Solar Cell Modules, JPL Document 5101-98, DOE/JPL1012-79/1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, January 1, 1979.

GRIFFITH, J., Environmental Testing of Block III Solar Cell Modules, JPL Document 5101-134, DOE/JPL1012-30, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, September 1, 1980.

GRIMONI, José Aquiles Baesso. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica, Escola Politécnica da USP. Energia Solar Fotovoltaica, 2019

Instituto de Pesos e Medidas do Estado de Rondônia – IPEM – Institucional – Carta de serviços ao cidadão - Avaliação da Conformidade. 2021.

INMETRO – GUM 2008:2012, Avaliação de dados de medição – Guia para a expressão da incerteza de medição (Primeira Edição Brasileira da Primeira Edição do BIPM de 2008: Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement – JCGM 100:2008)

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), “Avaliação da Conformidade”, 6ª edição, 2015.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO/ MDIC), Categoria Regulamento, Portaria número 004, de 04 de janeiro de 2011 Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001652.pdf>

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), “Acreditação – Coordenação Geral”, publicado em 11 de agosto de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/acreditacao/cgcre>. Acesso em 17 de agosto de 2021.

IEC 60904-3:2019 IEC - International Electrotechnical Commission. Photovoltaic Devices - Part 3: Measurement Principles for Terrestrial Photovoltaic (PV) Solar Devices with Reference Spectral Irradiance Data.

IEC 61215-1:2021 IEC - International Electrotechnical Commission. Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements.

IEC 61215-1-1:2021 IEC - International Electrotechnical Commission. Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1-1: Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules.

IEC 61215-2:2021 IEC - International Electrotechnical Commission. Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures.

ISO 13528: 2015 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison.

JET PROPULSION LABORATORY / California Institute of Technology- Who We Ar, 2021. Disponível em <https://www.jpl.nasa.gov/who-we-are/>. Acesso em 18 de maio de 2020.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. Revista virtual de química, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MACHADO, Guilherme A. Witte Cruz. Avaliação da conformidade como estratégia competitiva. Lumière Electric, São Paulo, 2003.

MRIG, Laxmi. Proceedings of the Photovoltaic Performance and Reliability Workshop, 8-10 September 1993, Golden, Colorado. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 1993.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. Diss. Universidade Federal de Lavras, 2004.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

PRIEB, César Wilhelm Massen. Desenvolvimento de um sistema de ensaio de módulos fotovoltaicos. 2002.

Programa Brasileiro de Etiquetagem – Histórico (INMETRO),2021. Disponível em: <https://www2.inmetro.gov.br/pbe/historico.php>. Acesso em:16 de junho de 2021.

Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (INMETRO),2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem>. Acesso em:16 de junho de 2021.

Relatório Técnico IUPAC – Protocolo Internacional Harmonizado para ensaios de proficiência de laboratórios analíticos, 2016.

RODRIGUES, Frank Wesley et al. A tendência de crescimento da energia fotovoltaica. 2017.

ROTH, Florian et al. Is The IEC 61646–10.15 Test Reliable? 24th EUPVSEC, p. 3553-3556, 2009.

SMOKLER, M., User Handbook for Block II Silicon Solar Cell Modules, JPL Document 5101-36, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, October 15, 1977.

SMOKLER, M.L, User Handbook for Block III Silicon Solar Cell Modules, JPL Document 5101-82, DOE/JPL-1 012-79/6, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, February 1, 1979.

SMOKLER, M.L, User Handbook for Block IV Silicon Solar Cell Modules, JPL Publication 82-73, JPL Document 5101-214, DOE/JPL-1012-75, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, September 1, 1982.

SMOKLER, M.L, User Handbook for Block V Silicon Solar Cell Modules, JPL Document 5101-262, DOE/JPL1012-106, JPL Pub 85-34, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, May 15, 1985.

UNITECK, Datasheet UNISUL M& BC rigid solar panels. Disponível em: [panneau-solaire-unisun_5_12_m-0491-en-va4mHTg2ee.pdf](#). Acesso em: 21 de agosto de 2021.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. Gazeta de Física, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

VIEIRA, Emanuel Antunes et al. Aumento do rendimento de módulos fotovoltaicos com aproveitamento da energia térmica para geração termoelétrica de estado sólido. 2018.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações- Sistemas Isolados e Conectados à Rede. 1a. edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2012.

VIM, Primeira Edição Luso – Brasileira, 2012, Tradução do International Vocabulary of Metrology Basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2012.

WOHLGEMUTH, John. IEC 61215: What it is and isn't (Presentation). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2012.

WOODWORTH, Joseph R.; WHIPPLE, Marjorie L. Evaluation tests for photovoltaic concentrator receiver sections and modules. Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States), 1992.