

PROCEDIMENTOS DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR NÉVOA SALINA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Cristina de Moura Ramos – cris_iee@yahoo.com.br

UNIA, Centro Universitário de Santo André
Rua Senador Flaquer, 456, 09010-160, Santo André, Brasil

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Jorge Rufca – rufca@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia
Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289, 05508-900, São Paulo, Brasil

4.4 Outros instrumentos de medição

Resumo. *O clima tropical predominante no Brasil aliado a seu extenso litoral expõe os módulos fotovoltaicos a ambientes úmidos, quentes e salinos. Este trabalho apresenta uma proposta de ensaio para testar a qualidade dos revestimentos de proteção dos módulos fotovoltaicos quando operando em locais sujeitos à salinidade.*

Palavras-chave: *Controle de qualidade, módulos fotovoltaicos, névoa salina.*

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de melhorar a qualidade dos equipamentos de um sistema fotovoltaico através de um sistema de aferição, medição e controle, foi criado em 2002 o Grupo de Trabalho de Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica (GT-FOT) do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial (INMETRO). Este grupo realizou uma minuciosa análise dos procedimentos constantes na norma IEC 61215 (1993) – *Módulos Fotovoltaicos (PV) de Silício Cristalino para Aplicações Terrestres – Qualificação da Concepção e Homologação*, que é usada como referência mundial para os procedimentos de ensaio aos quais os módulos fotovoltaicos devem se submeter quando da homologação. O GT-FOT apresentou uma proposta de procedimentos para etiquetagem dos módulos, adotando alguns itens e modificando outros. O grupo considerou a implantação do Ensaio de Corrosão por Névoa Salina extremamente interessante, em face das condições de operação encontradas no Brasil, pela possibilidade de avaliação da compatibilidade dos materiais, a qualidade e uniformidade dos revestimentos de proteção.

Sendo assim, adicionalmente, a norma IEC 61701 (1995) – *Ensaio de Corrosão por Névoa Salina em Módulos Fotovoltaicos (PV)* foi adotada e esta, por sua vez, referencia-se na IEC 60068-2-11 (1981) – *Procedimentos de Ensaios Climáticos Fundamentais e de Robustez Mecânica - Parte 2: Teste Ka - Névoa Salina*, que fornece as principais recomendações para a execução do ensaio.

O teste exige, além dos aparatos convencionais como instrumentos e acessórios, o atendimento de várias particularidades para sua execução. Este trabalho apresenta detalhes da construção de uma câmara para ensaio de névoa salina e a proposta de execução do ensaio.

2. O ENSAIO DE NÉVOA SALINA

2.1 Objetivo

O objetivo deste ensaio é comprovar a resistência do módulo à corrosão por névoa salina.

2.2 Aparatos para o teste

2.2.1 Câmara de Teste

Seguindo as recomendações da norma, optou-se pela construção de uma câmara constituída por uma caixa em fibra de vidro e uma tampa de acrílico, que são materiais que não reagem nem se contaminam com a atmosfera salina. Para que a névoa não fosse pulverizada diretamente nas amostras sob teste, a caixa confeccionada tem dimensões de 1625 x 1015 x 1010 (mm), garantindo a acomodação de praticamente toda gama dos módulos comercializados atualmente no país. Estas dimensões asseguram também as condições de operação homogêneas e constantes no interior da câmara (Fig.1).



Figura 1 – Câmara de Teste (frontal), IEE/USP
(Foto: C. M. Ramos, 2005)

Para vedar o encaixe da tampa com a caixa de forma a evitar o escape da névoa, uma espécie de aba foi construída em torno da caixa, de forma que esta área pudesse ser preenchida com água. A água faz o acoplamento entre as duas partes da câmara, tampa e caixa, atuando como um selo (Fig. 2).



Figura 2 – Detalhe do selo d'água, IEE/USP
(Foto: C. M. Ramos, 2005)

Para evitar pressões foi instalado um dreno na parte inferior traseira da caixa, junto ao chão. Desta forma, as gotas condensadas da solução podem escorrer pelo teto e paredes da câmara e escoar para fora da câmara.

2.2.2 Atomizador

A fim de produzir uma mistura finamente dividida, úmida e densa, iniciou-se uma pesquisa sobre qual o tipo de atomizador seria concebido. Chegou-se a um protótipo de dimensões baseadas na Norma IEC 60507 (1991) – *Testes de Poluição Artificial em Isoladores de Alta Tensão usados em Sistemas A.C.*, especificado para trabalhar com uma pressão do ar comprimido de $700 \text{ kPa} \pm 35 \text{ kPa}$ (ou $7 \text{ bar} \pm 0,35 \text{ bar}$).

Os materiais selecionados para a produção dos bicos atomizadores foram alumínio no bloco de sustentação e latão nos bocais, uma vez que não pode haver reação entre o material usado na fabricação e a atmosfera salina que será criada (Fig. 3 e Fig. 4).



Figura 3 – Bico Pulverizador (frontal), IEE/USP
(Foto: C. M. Ramos, 2005)



Figura 4 – Bico Pulverizador (lateral), IEE/USP
(Foto: C. M. Ramos, 2005)

Mangueiras de 3/8" transportam o ar comprimido e a água salina aquecida até os bocais, produzindo uma névoa fina, densa e úmida.

Para produção homogênea da névoa salina foi necessária a instalação de um regulador de pressão entre a saída de ar comprimido do compressor e a entrada da câmara.

2.2.3 Solução Salina

A solução deve ser preparada dissolvendo-se 5 ± 1 partes por peso de sal (Cloreto de Sódio - NaCl) de alta qualidade em 95 partes por peso de água destilada ou desmineralizada. A concentração da solução salina deverá ser $5 \pm 1\%$ por peso e o valor do pH da solução deve estar entre 6,5 e 7,2, à temperatura de $35 \pm 2^\circ\text{C}$.

O pH deverá ser mantido dentro da faixa estipulada e medido a cada novo lote de solução preparada. Se necessário, seu valor poderá ser ajustado dentro dos limites especificados através da adição de algumas substâncias (ácido hidrocloreto diluído ou hidróxido de sódio). A solução pulverizada não poderá ser reutilizada.

2.2.4 Suprimento de ar

O ar comprimido deve estar essencialmente livre de todas as impurezas, como óleo e pó. Para assegurar que não haja obstrução do atomizador por deposição de sal, a umidade relativa do ar deverá ser pelo menos de 85% no ponto de liberação do bocal.

2.3 Medidas iniciais

As amostras deverão seguir a seqüência indicada pelo GT-FOT que consiste das seguintes etapas:

- Inspeção visual (de acordo com IEC 61215 (1993), item 10.1);
- Curva I-V nas STC (de acordo com IEC 904-3 (1989));
- Teste de isolamento (de acordo com a norma IEC 61215 (1993), item 10.3)
- Estanqueidade ou Umidade e Congelamento (de acordo com IEC 61215 (1993), item 10.13).

2.4 Condições do teste

2.4.1 Posição da Amostra

A amostra deverá ser testada em sua posição normal de operação, ou seja, a inclinação da face do módulo normalmente exposta à irradiância solar deverá ser de 15° a 30° .

2.4.2 Temperatura da câmara

A temperatura da câmara de teste deve ser mantida em $35 \pm 2^\circ\text{C}$.

2.4.3 Homogeneidade e Quantidade de Névoa

A condição da mistura salina deve ser mantida em todas as partes da zona de exposição e dois recipientes limpos, de 80 cm^2 de área, instalados em qualquer ponto da zona de exposição, deverão coletar entre 1,0 ml e 2,0 ml da solução por hora em média, sobre um período mínimo de 16 horas.

2.4.4 Medições do pH da solução salina

A solução, coletada conforme descrito no item 2.5.3 (*Homogeneidade e Quantidade de Névoa*), deverá, quando medida a $35 \pm 2^\circ\text{C}$, ter concentração de pH conforme especificado no item 2.2.3 (*Solução Salina*).

2.4.5 Procedimentos para medida do pH da solução salina

Para câmaras que não são utilizadas continuamente um teste piloto deve ser executado entre 16 e 24 h antes dos testes serem aplicados. As medidas devem ser feitas imediatamente após o teste piloto rodar e antes de expor as amostras a serem testadas.

2.4.6 Duração do teste

A duração do teste para módulos fotovoltaicos deverá ser de 96 h (4 dias).

2.5 Restabelecimento

As amostras pequenas deverão ser lavadas em água corrente, cuja temperatura seja inferior ou no máximo 35°C, durante 5 minutos e enxaguadas em água destilada ou desmineralizada. Para secagem, serão sacudidas manualmente ou submetidas a um jato de ar para remover gotículas de água e ficarão armazenadas para restabelecimento de 1 a 2h.

2.6 Medições finais

Conforme indicação do GT-FOT, o módulo em questão será inspecionado visualmente (conforme item 10.1 da norma IEC 61215 (1993) – Inspeção Visual) e eletricamente (conforme item 10.2 da norma IEC 61215 (1993) - Desempenho nas Condições Padrão de Teste), além de submeter-se à verificação do isolamento entre seus terminais (conforme item 10.3 da norma IEC 61215 (1993) – Isolamento Elétrico).

Os resultados deverão ser registrados.

3. INSTRUMENTAÇÃO

Indica-se a seguir a instrumentação requerida para o controle das variáveis na aplicação do procedimento de ensaio.

3.1 Controle da Temperatura

Como optou-se pela pulverização da solução salina aquecida dentro da câmara, utilizou-se um recipiente isolado termicamente com uma resistência elétrica alimentada pela rede (127V), e uma serpentina. A resistência elétrica mantém a água do recipiente aquecida enquanto a solução salina passa por uma serpentina, recebendo o calor do banho.

A aplicação de um controle *on-off* mostrou-se adequada, pois, a partir do monitoramento da temperatura interna da câmara, parâmetros como tensão e/ou corrente da resistência elétrica do banho podem ser controlados. Basta ligar ou desligar uma chave para buscar o equilíbrio térmico. Desta forma, sugere-se duas alternativas para realização deste monitoramento e controle. A primeira é a colocação de um sensor e um controlador de temperatura para esta verificação e atuação, equipamento disponível no mercado nacional a um custo acessível e grande variedade de saídas em tensão ou corrente para realizar o acionamento. Este tipo de controlador também realiza o monitoramento da umidade relativa do ar dentro da câmara. Outra opção é o desenvolvimento de um circuito eletrônico de controle com componentes discretos, muito simples de ser desenvolvido, a um custo muito baixo e a colocação de um sensor e indicador de umidade relativa do ar.

Dependendo da alternativa implementada, faz-se necessário:

- dois termômetros (câmara e banho) com precisão de $\pm 1^\circ \text{C}$ (conforme Norma IEC 904-1 (1987), Sub-cláusula 2.3);
- um sensor com indicação de umidade relativa do ar com precisão total de $\pm 1\%$;
- um controlador de temperatura microprocessado e indicador de umidade relativa do ar, com a precisão descrita acima.

3.2 Controle da Névoa

Através da quantidade da névoa coletada no interior da câmara, é feito um ajuste no controle da vazão de água, mantendo-se constante a pressão do ar comprimido que chega ao atomizador. Desta forma, necessita-se de:

- um regulador de vazão do tipo agulha, com bocais de 3/8", limitando a entrada da solução salina aquecida na câmara;
- um regulador de pressão, garantindo a pressão do ar comprimido constante em $700 \text{ kPa} \pm 35 \text{ kPa}$ (ou $7 \text{ bar} \pm 0,35 \text{ bar}$);
- dois recipientes cilíndricos de vidro (Becker) de 1000 ml de capacidade, graduados a cada 100 ml e aproximadamente 5 cm de raio de forma a chegar-se a uma área de 80 cm^2 , exigida pela recomendação IEC 60068-2-11 (1981), para coleta da solução condensada;
- uma proveta de 50 ml, graduada a cada 0,5 ml para medição da solução coletada.

3.3 Outros Materiais e Acessórios

Além do especificado nos itens 3.1 e 3.2, os seguintes materiais e acessórios são utilizados:

- Um medidor de pH com acessórios (eletrodos), com precisão de $\pm 0,1$, para controle da concentração da solução salina;
- Um medidor de inclinação do plano da amostra, para o correto posicionamento da mesma dentro da câmara;
- Dois suportes articulados em aço inox ou alumínio, para acomodação do módulo sob teste e do bico pulverizador;
- Mangueiras 3/8" para transporte do ar comprimido e da solução salina aquecida ao bico atomizador;
- Abraçadeiras reguláveis, fita de vedação e ferramentas para todos os ajustes pertinentes.

O diagrama esquemático apresentado na Fig. 5 sintetiza as conexões e ilustra os aparelhos necessários para a realização do ensaio de névoa salina.

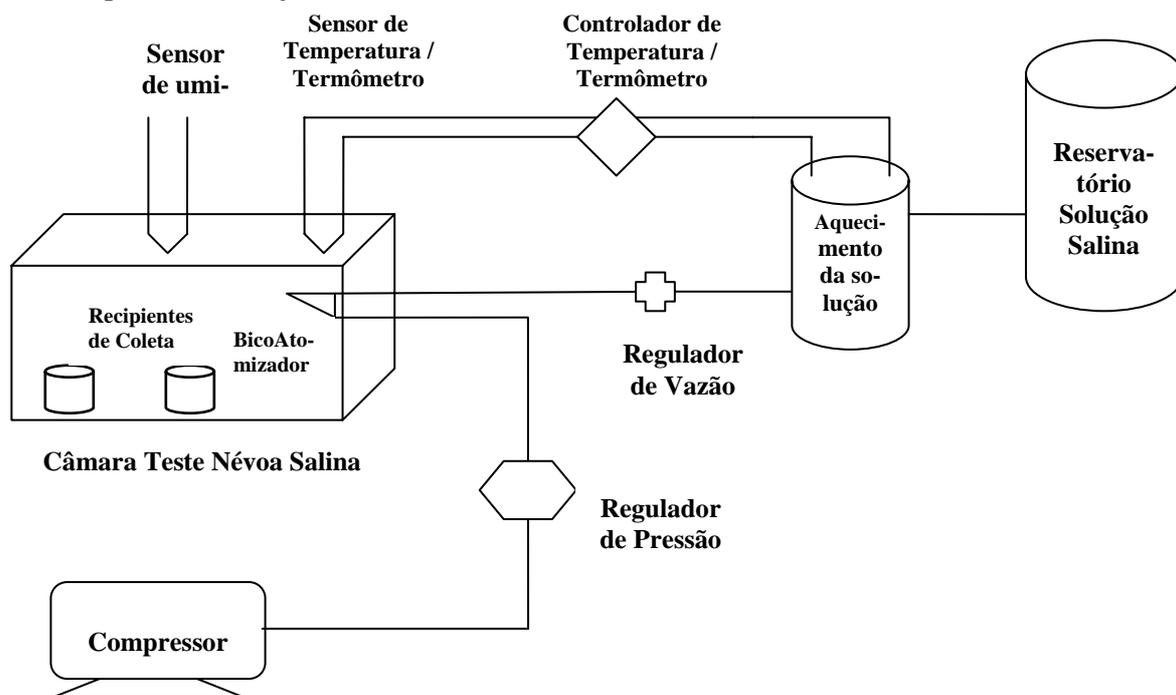


Figura 5 – Diagrama Esquemático do Teste de Névoa Salina

4. CONCLUSÃO

A especificação do procedimento de ensaio e o detalhamento da instrumentação necessária, apresentados neste trabalho permitem testar a qualidade dos revestimentos de proteção e compatibilidade de materiais empregados na construção de módulos fotovoltaicos quanto operando em ambientes de elevada salinidade.

Além disto, oferece-se uma contribuição ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO, para a validação da seqüência de testes propostas para a qualificação e certificação dos módulos.

O IEE/USP está se preparando para ser uma unidade certificadora, equipando um laboratório numa das salas do Setor de Serviço Técnico da Qualidade, e a sistematização dos procedimentos de ensaio facilita a aplicação dos testes.

Espera-se também que o presente trabalho auxilie todos os profissionais que estão de alguma forma envolvidos com o processo de qualificação, aplicação, projeto, instalação e manutenção de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

REFERÊNCIAS

- IEC 60068-2-11 International Standard, 1981. *Basic Environmental testing procedures – Part 2: Test Ka : Salt mist.*
- IEC 60507 International Standard, 1991. *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems.*
- IEC 60904-3 International Standard, 1989. *Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data.*
- IEC 61215 International Standard, 1993. *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval.*
- IEC 61701 International Standard, 1995. *Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules.*
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial; *PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem*, disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe.asp#>.

PHOTOVOLTAIC MODULES TESTING PROCEDURES RESISTANCE TO SALT MIST ENVIROMENT CONDITIONS

Abstract: *The Brazilian's tropical climate and its extensive coast exposes the photovoltaic modules to the humid, hot and salt mist environments conditions. This work presents a proposal to test the quality of photovoltaic modules protective coatings when operating in salt mist conditions.*

Key-Words: *Quality control, Photovoltaic module, salt mist.*