

ESTUDO PARA MITIGAÇÃO DAS FALHAS EM INVERSORES, CONTROLADORES DE CARGA E BATERIAS PROVOCADAS PELA ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA NOS ARMÁRIOS DE SIGFI'S

Marcio Eli Moreira de Souza – msouza@cemig.com.br

Dênio Alves Cassini – dac@cemig.com.br

Danilo Derick Silva Alves – danilo.silva@cemig.com.br

CEMIG Distribuição SA

Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz – asacd@pucminas.br

Lauro Vilhena Machado Neto – lvilhena@pucminas.br

Lucas Paglioni Pataro Faria – lucas.faria@pucminas.br

Suellen C. S. Costa – suellencscosta@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/MG

Resumo. Este artigo apresenta os resultados dos estudos realizados pela CEMIG em conjunto com a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC/MG, com o objetivo de propor uma solução para mitigar a ocorrência de falhas em equipamentos que compõem os sistemas fotovoltaicos (SIGFI'S – Sistema Individual de Geração de Fontes Intermitentes) instalados na região norte e nordeste do estado de Minas Gerais. Tais equipamentos, inversores, controladores de carga e baterias, vinham apresentando falhas em função da temperatura interna nos armários padrão fotovoltaico que foram utilizados para seu acondicionamento. Uma das alternativas encontradas e analisadas, no intuito de minimizar o efeito da temperatura nestes equipamentos, foi à aplicação de tintas refletivas na superfície dos armários fotovoltaicos. Os ensaios realizados considerando três armários cobertos por diferentes marcas de tintas, mostraram que a tinta InsulPaint apresenta melhor eficiência, já que as temperaturas em diferentes pontos do armário foi menor se comparado com as demais.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos Isolados, SIGFI, Falhas em equipamentos, Armário Fotovoltaico.

1. INTRODUÇÃO

Há vários anos a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) vem investigando o uso da energia solar no Estado de Minas Gerais, tendo acumulado experiência e conhecimento no desempenho técnico dos equipamentos, bem como na adaptabilidade e aplicabilidade desta tecnologia, considerando-se as condições climáticas e os parâmetros socioeconômicos do Estado, em várias aplicações, tais como em estações meteorológicas, na proteção catódica de torres e na pré-eletrificação rural. Porém, foi na utilização dessa tecnologia em áreas rurais, distantes e isoladas da rede elétrica convencional, que foram concentrados os maiores esforços.

Desde 1990, a CEMIG avalia a viabilidade técnica e econômica da eletrificação rural de clientes em locais remotos e de baixo potencial de consumo de eletricidade, utilizando a energia solar como fonte energética. O principal objetivo era obter conhecimentos sobre opções de tecnologias complementares, a rede elétrica convencional, para eletrificação rural. Para alcançar este objetivo, foram implantadas diversas instalações experimentais e de demonstração utilizando a tecnologia fotovoltaica de transformação direta da energia radiante do sol em eletricidade. Essas instalações decorreram de convênios e aporte de recursos de diversas instituições nacionais e internacionais, tais como o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica – CEPEL, o National Renewable Energy Laboratory – NREL, a Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GIZ, o Banco Alemão KfW, o Ministério de Minas e Energia - MME através do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios - PRODEEM e de municípios, dentre outros. Entre 1990 – 1999 foram implantados vários projetos da demonstração da tecnologia fotovoltaica.

Diante dos resultados positivos oriundos destas experiências, a CEMIG criou o “Programa LUZ SOLAR – Pré-eletrificação Rural Utilizando Sistemas Fotovoltaicos”, em 1999, que foi fundamental para utilização da geração descentralizada. Através deste programa foram beneficiados 550 domicílios rurais e 200 escolas, em parceria com o MME, através do PRODEEM.

Baseado no domínio tecnológico da energia solar fotovoltaica pelo corpo técnico da CEMIG e implantação da infraestrutura de operacionalização, a empresa decidiu optar por sistemas fotovoltaicos como a tecnologia complementar à rede elétrica convencional para o cumprimento das metas de universalização dentro do Programa Luz para Todos – LPT.

No período entre 2004 e 2011 o LPT na CEMIG possibilitou o atendimento a 285.913 unidades consumidoras por meio de redes de distribuição e sistemas fotovoltaicos individuais, sendo que a melhor alternativa de atendimento foi escolhida de acordo com os custos de implantação, as características do local e o perfil de consumo energético. Os sistemas fotovoltaicos foram utilizados para atendimento a domicílios e centros comunitários rurais, tais como escolas, postos de saúde, casas de farinha e etc. Até março de 2008, 1.700 residências e 300 escolas rurais e centros comunitários, localizadas nas regiões norte e leste do Estado de Minas Gerais foram beneficiadas com sistemas fotovoltaicos do tipo SIGFI no LPT. A Fig. 1 apresenta localização dos sistemas residenciais tipo SIGFI13 instalados pelo Programa Luz para Todos.

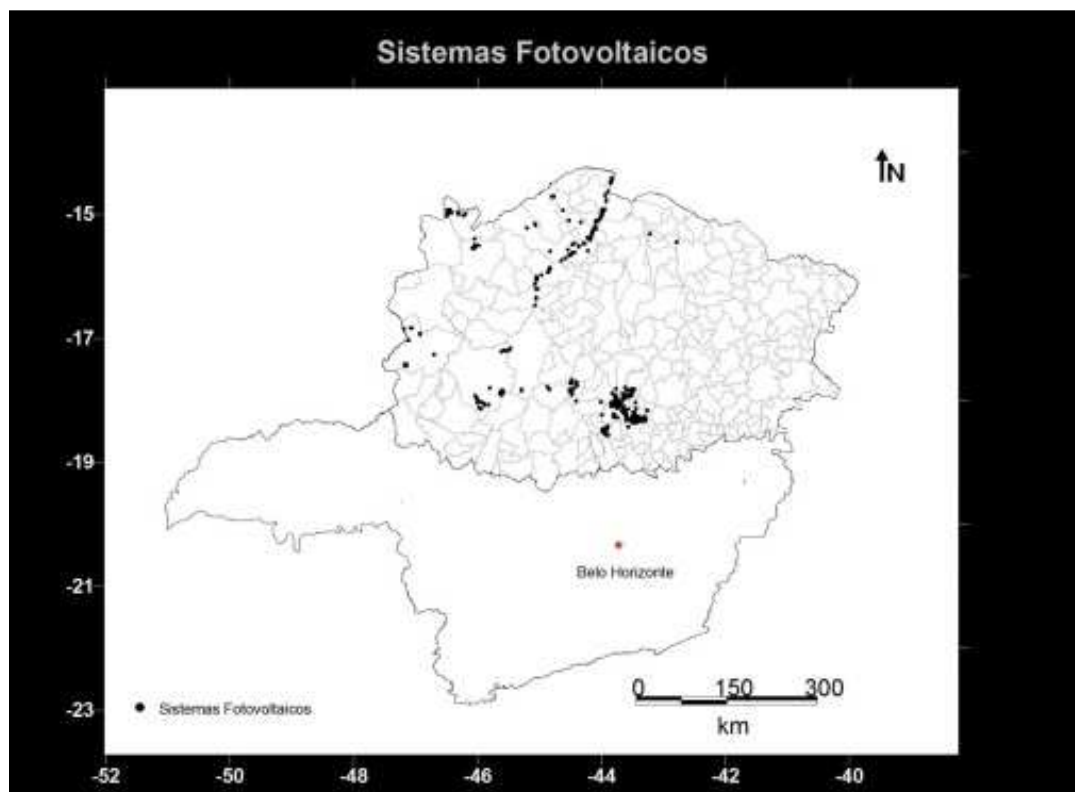


Figura 1 - Localização dos sistemas residenciais tipo SIGFI13 instalados pelo LPT

2. PROBLEMA DAS FALHAS

Passado o período de comissionamento e recebimento das obras de instalação dos sistemas fotovoltaicos e do período de garantia destas obras, observou-se um aumento considerável de falhas nos sistemas fotovoltaicos instalados via LPT, se comparados com os históricos de falhas ocorridas em sistemas instalados em programas anteriores. Diante dos fatos e da necessidade de se apurar as causas geradoras destas falhas, optou-se por aprofundar os estudos, envolvendo outros agentes de forma a concentrar esforços na solução destas.

Premissas básicas utilizadas para a análise das falhas e proposição de solução para redução das ocorrências envolvendo os equipamentos dos sistemas fotovoltaicos:

- Busca de uma solução simples e de fácil implantação, uma vez que os sistemas fotovoltaicos estão instalados em locais de difícil acesso e distantes das sedes dos municípios;
- Verificação dos parâmetros climáticos das regiões onde foram observadas as ocorrências com danos nos equipamentos do sistema fotovoltaico;
- Atuação nos armários padrão fotovoltaico.

Os armários utilizados na CEMIG D para abrigar os equipamentos utilizados nos sistemas fotovoltaicos são confeccionados em chapas de aço de 2,3 mm, galvanizadas a quente, com acabamento na cor cinza (Munsell 6.5). Existem modelos distintos que diferem entre si, em função do número de equipamentos que serão instalados em seu interior. Na Fig. 2 são apresentados os armários padrão fotovoltaico residencial e poder público. Quando da confecção destes armários não foi prevista uma condição climática severa, no que tange a temperatura ambiente, diante disso, seguiu os padrões construtivos de painéis elétricos convencionais.



Figura 2 – a) armário residencial b) armário poder publico

Ao observarmos as imagens dos modelos apresentados podemos constatar que a área de sombreamento proporcionada pelo gerador fotovoltaico aos armários, é maior na do tipo poder público do que na do tipo residencial. Assim conclui-se que devido a esta circunstância, o armário residencial está mais exposto à radiação solar direta o que acaba por provocar o aumento da temperatura em seu interior, comprometendo o bom funcionamento dos equipamentos instalados em seu interior.

Diante desta constatação e do aumento no número de equipamentos danificados em sistemas fotovoltaicos residenciais instalados na região Norte do Estado, optou-se por aprofundar os estudos visando neutralizar ou mesmo eliminar as causas originárias das falhas e identificar quais os locais desta região este problema esta mais susceptível de ocorrer.

3. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS TINTAS

Para a mitigação das ocorrências nos equipamentos do sistema fotovoltaico, buscou-se identificar a melhor solução para redução do impacto da incidência da radiação solar sobre o armário. Assim, várias opções foram analisadas tais como: alternativas com superfícies isolantes, melhorias na ventilação dos armários e da estrutura interna dos armários, do aumento da área de sombreamento no mesmo, aplicação de cobertura vegetal no solo sob os armários e alternativas com recobrimentos refletivos da superfície exterior deles. Tendo como premissa o menor custo e a maior facilidade na execução em campo, optou-se por trabalhar com a alternativa do recobrimento refletivo da superfície.

Atualmente os armários são recobertos com tinta marca Isocoat, Munsell N 6.5, que é uma tinta fosca com resina de poliéster cinza desenvolvida para ambientes externos, podendo ser aplicada com equipamento de pinturas eletrostáticas, automática ou manual em substratos de aço ou alumínio. Os armários expostos à radiação solar absorvem calor, contribuindo assim para o aumento da temperatura seu interior o que contribui na redução da eficiência energética do sistema de geração fotovoltaica posto que a eficiência dos equipamentos está relacionada com a variação da temperatura.

A radiação solar é um importante contribuinte para o ganho térmico de superfícies. Os materiais absorvem e ou refletem a radiação solar e com o propósito de minimizar os efeitos causados por essa radiação, pode-se utilizar superfícies refletivas. A principal característica dessas superfícies é refletir a radiação solar tanto na região do visível como na região do infravermelho próximo. A carga térmica, resultante da incidência de radiação solar sobre os armários dependerá, dentre outros fatores de uma propriedade denominada “absortância” que é definida como sendo a razão entre a energia solar absorvida por uma superfície e a energia solar total incidente sobre esta. Porém o uso de superfícies com elevado índice de refletância de radiação solar contribui para a diminuição da temperatura no interior dos armários, uma vez que a tinta refletiva irá devolver parte considerável da radiação solar para a atmosfera.

Assim foi adotada a solução de implantação de cobertura utilizando tinta antirefletiva. Porém antes da definição de qual tinta deveria ser utilizada foi realizado um estudo comparativo entre as principais opções de tintas disponíveis no mercado. De posse das tintas catalogadas conforme mostrado na Tabela 1 e utilizando como critérios para investigação, o maior valor de refletância (acima de 90%), o maior rendimento e o custo unitário, foram selecionadas para análises óticas as seguintes tintas: IsolReflex, IsoReflet e InsulPaint. Tais tintas apresentam facilidade de aplicação e baixa relação custo/m², porém a rugosidade das amostras foi de 1,34, 3,65 e 2,70µm, respectivamente, devido à presença de microesferas na sua composição básica.

Tabela 1 – Características das Tintas Refletivas Comerciais

Tipos de Tintas	Fornecedor/Contato	Composição Básica	Propriedades Óticas	Aplicação	Rendimento em Superfícies Metálicas	Custo (R\$) 18 litros	Custo (R\$) por m ²
IsolReflex	DSD Betim/MG	Acrílica, água, microesferas	Refletância de 95%	Há necessidade de primer.	Primer Super Galvite – 40m ² /l	250,00 (primer)	0,35
				Pincel, rolo de lã, pistola	IsolReflex 7,5m ² /l	220,00 (tinta)	1,65
Ribplus Térmico	Metal Factor Cravinhos/SP	Copolímeros acrílicos, microesferas	Redução de 90% da absorção	Rolo de lã, broxa, trincha	2m ² /l	320,00	9,00
Iso-Reflet	Iso-systems Ribeirão Preto/SP	Acrílica estirenada, minerais micronizados	Refletância de 90%	Rolo de lã, broxa, trincha	7,5m ² /l	360,00	2,50
Tintas Metálicas	Cologin	Água, pó de alumínio	Refletância de 70%	Tubo spray	5m ² /l	12,00 (350ml)	5,75
Novacor branco fosco	Sherwin Williams	Látex PVA	Refletância de 81,3%	Rolo de lã, trincha (necessita anti-ferrugem)	11m ² /l	170,00	0,85
Suvinil branco fosco	Suvinil	Acrílica	Refletância de 80,6%	Rolo de lã, trincha (necessita anti-ferrugem)	13m ² /l	160,00	0,70
Insulpaint	Santa Helena São Paulo/SP	Elastômero, acrílica, microesferas	Refletância de 95%	Rolo de lã, trincha, broxa, máq. airless (primer recomendável)	4,0m ² /l	450,00	6,25

Fonte: Catálogos DSD Metal Factor (2010)

Amostras de substratos foram preparadas utilizando-se chapa de aço que após passar por um processo de limpeza com água corrente para remoção de sujeiras, e de óxidos, óleos e graxas, foram recobertas com tintas refletivas. A pintura das chapas de aço deu-se em duas etapas: na primeira aplicou-se tinta base “primer” por meio do rolo de lã com tempo de secagem de 4 horas e foram recobertas com as tintas refletivas em duas demãos por meio do rolo de lã com tempo de cura de 12 horas. Na Fig. 3 são apresentadas as amostras analisadas.

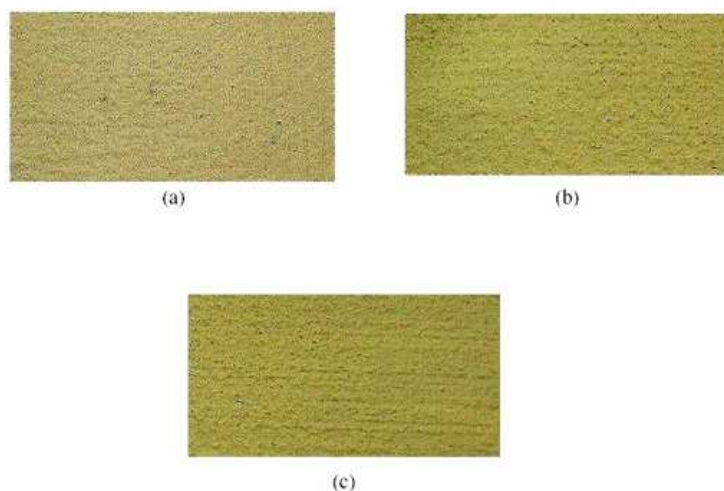


Figura 3 – Amostras recobertas com tintas refletivas: (a) IsolReflex (b) IsoReflet e (c) InsulPaint

Para determinação da refletância especular na região do visível e infravermelho próximo, as análises de espectroscopia foram realizadas nos laboratórios do CETEC- MG em Belo Horizonte. Os resultados das avaliações realizadas, mostraram que os valores de refletância das tintas investigadas estão próximos na região do visível e infravermelho (entre 0,4 a 1,1 μm) o que significa que elas têm propriedades óticas similares quanto à reflexão especular da radiação nessa região. Os valores de absortância solar na região do infravermelho médio/distante (1,1 a 25 μm) da tinta InsulPaint são os maiores, logo tais tintas também emitem mais calor nessa região, o que reduz a temperatura dos armários. As amostras com a tinta InsulPaint foram aquelas que apresentaram maior emissão térmica, 79,7% contra 73,6% da tinta IsolReflex. A Fig. 4 apresenta a refletância percentual em função do comprimento de onda das 3 tintas testadas.

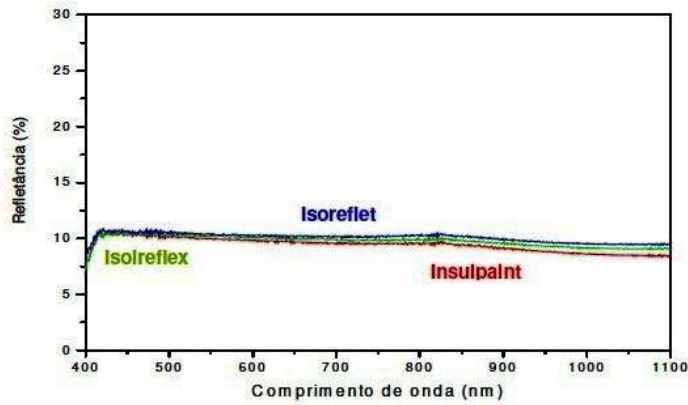


Figura 4 – Espectro de refletância solar na região do visível e infravermelho próximo

Assim, a tinta InsulPaint por emitir mais calor na região do infravermelho foi a escolhida por apresentar o melhor desempenho.

4. ENSAIOS NO SIMULADOR SOLAR

No intuito de ratificar os resultados apresentados em estudo elaborado para identificação e escolha das tintas refletivas possíveis de serem utilizadas na cobertura dos armários para sistemas fotovoltaicos, optou-se por realizar ensaios técnicos no Simulador Solar localizado na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC-MG. Estes ensaios tiveram como propósito avaliar o comportamento térmico no interior de três armários padrão fotovoltaico pintados cada um com as respectivas tintas: armário 1 - Isocoat, armário 2 - IsolReflex e armário 3 - InsulPaint. A metodologia utilizada consistiu em posicionar o armário no Simulador Solar, apoiado em uma base metálica, não inclinada a fim de simular as condições reais de operação em campo a uma distância de aproximadamente 1,0 m do céu artificial. A Fig. 5 mostra o posicionamento do armário no Simulador Solar.



Figura 5 – Posicionamento dos armários no Simulador Solar

Após o posicionar o armário, vários termopares do tipo T foram fixados com pasta térmica em seu interior, ficando estes, posicionados no topo, na base e nas laterais do armário. Também foi fixado no lado externo ao armário um termopar para aquisição da temperatura ambiente. As lâmpadas do Simulador Solar foram configuradas para que, em conjunto, pudessem fornecer uma radiação de $840 \pm 10 \text{ W/m}^2$. Com a configuração do sistema de aquisição de dados e após as leituras em todos os termopares atingirem condições de regime permanente. Para todos os armários ensaiados,

adotou-se a mesma configuração de posicionamento dos sensores de temperaturas. As posições dos termopares internos ao armário são dadas conforme a Fig. 6.

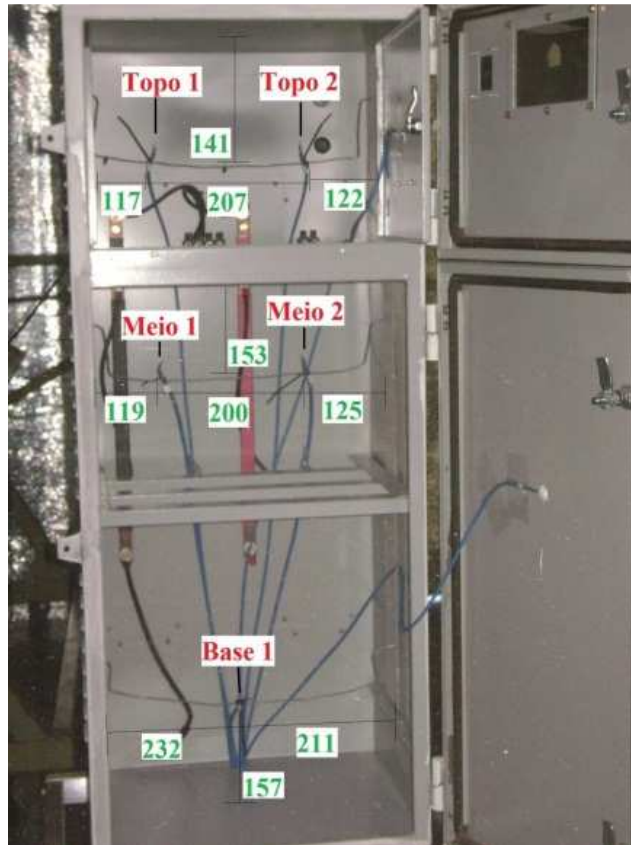


Figura 6 – Visualização dos termopares internos ao armário

Ao final dos ensaios, foi possível constatar o comportamento diferenciado em relação as temperaturas no interior dos armários em função da reflexividade para um mesmo nível de radiação entre as três tintas utilizadas. Os resultados obtidos podem ser observados conforme mostrados nas Fig. 7, 8 e 9.

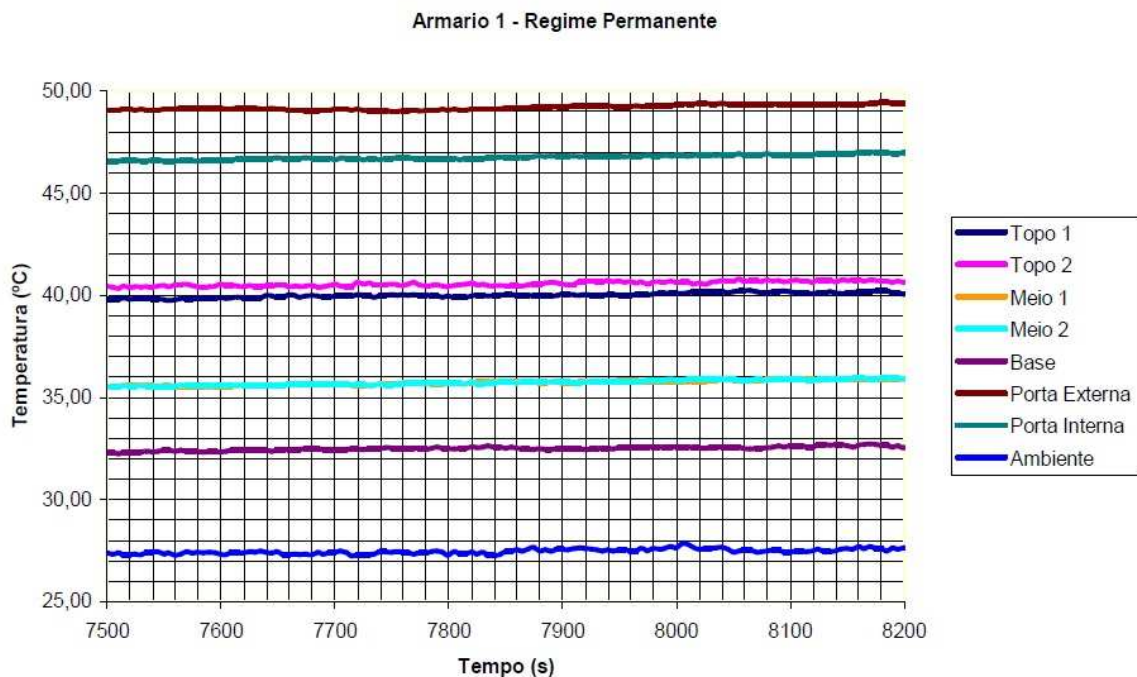


Figura 7 – Comportamento diferenciado das temperaturas no interior do Armário 1

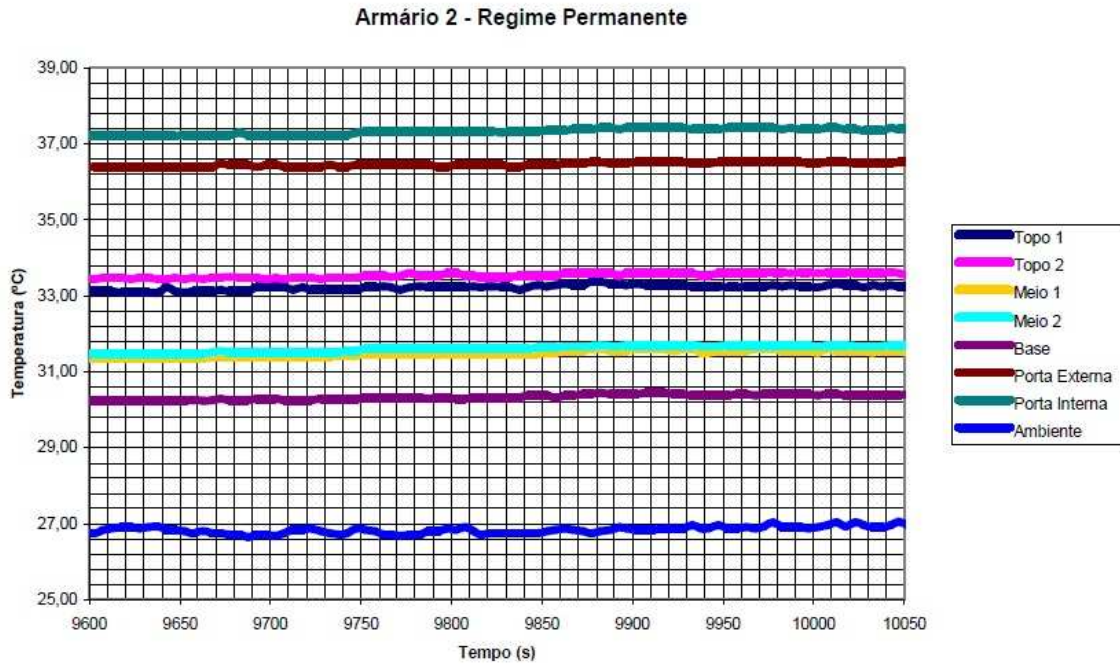


Figura 8 – Comportamento diferenciado das temperaturas no interior do Armário 2

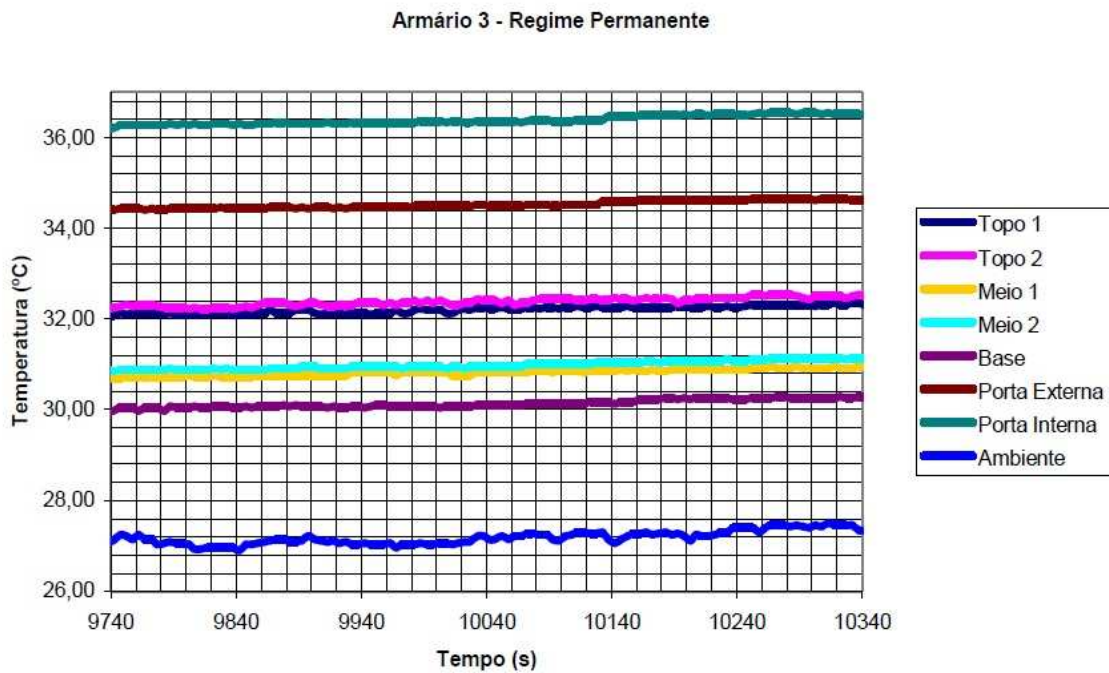


Figura 9 – Comportamento diferenciado das temperaturas no interior do Armário 3

A Tab. 2 apresenta, de forma comparativa, as distribuições de temperaturas nos três armários ensaiados. Admite-se que todos os sensores foram fixados nos mesmos lugares em todos os três armários e que a incerteza da instrumentação e da placa de aquisição é exatamente a mesma em todos os ensaios.

Tabela 2 – Comparação da distribuição de temperaturas nos 3 armários

Temperaturas - Armário 1 (Isocoat)								
Estatísticas	Topo 1	Topo 2	Meio 1	Meio 2	Base	Porta Externa	Porta Interna	Ambiente
Média (°C)	40,02	40,56	35,73	35,74	32,49	49,21	46,77	27,48
Desvio Padrão (°C)	0,12	0,12	0,11	0,12	0,10	0,13	0,12	0,12
Temperaturas - Armário 2 (IsolReflex)								
Estatísticas	Topo 1	Topo 2	Meio 1	Meio 2	Base	Porta Externa	Porta Interna	Ambiente
Média (°C)	33,22	33,54	31,49	31,61	30,35	36,45	37,32	26,84
Desvio Padrão (°C)	0,06	0,06	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09
Temperaturas - Armário 3 (InsulPaint)								
Estatísticas	Topo 1	Topo 2	Meio 1	Meio 2	Base	Porta Externa	Porta Interna	Ambiente
Média (°C)	32,23	32,38	30,82	30,95	30,11	34,50	36,37	27,15
Desvio Padrão (°C)	0,08	0,09	0,07	0,09	0,09	0,08	0,10	0,15

Pode-se concluir que dos três armários ensaiados, o armário 1 (Isocoat) apresenta a maior distribuição de temperaturas internas e na superfície das portas enquanto o armário 3 (InsulPaint) apresenta a menor distribuição de temperaturas internas e na superfície das portas. Portanto, para o fim a que se destina a tinta refletiva da marca InsulPaint é a mais indicada para ser utilizada na cobertura externa dos armários sujeitos a ambientes externos e exposto à radiação solar.

5. VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Uma vez constatado que o aumento da temperatura interna dos armários fotovoltaicos está diretamente relacionado com a incidência de radiação solar e ao número de horas em que estes estão expostos a mesma, foi realizado um estudo minucioso nos parâmetros climáticos da macrorregião onde os sistemas foram instalados, no intuito de buscar os locais mais prováveis de ocorrência de falhas em equipamentos devido ao aumento da temperatura interna dos armários.

Para a realização dos estudos sobre os parâmetros climáticos da região foram analisados os Normais Climatológicos registrados em várias estações climatológicas da CEMIG conforme apresentado na Fig. 10.

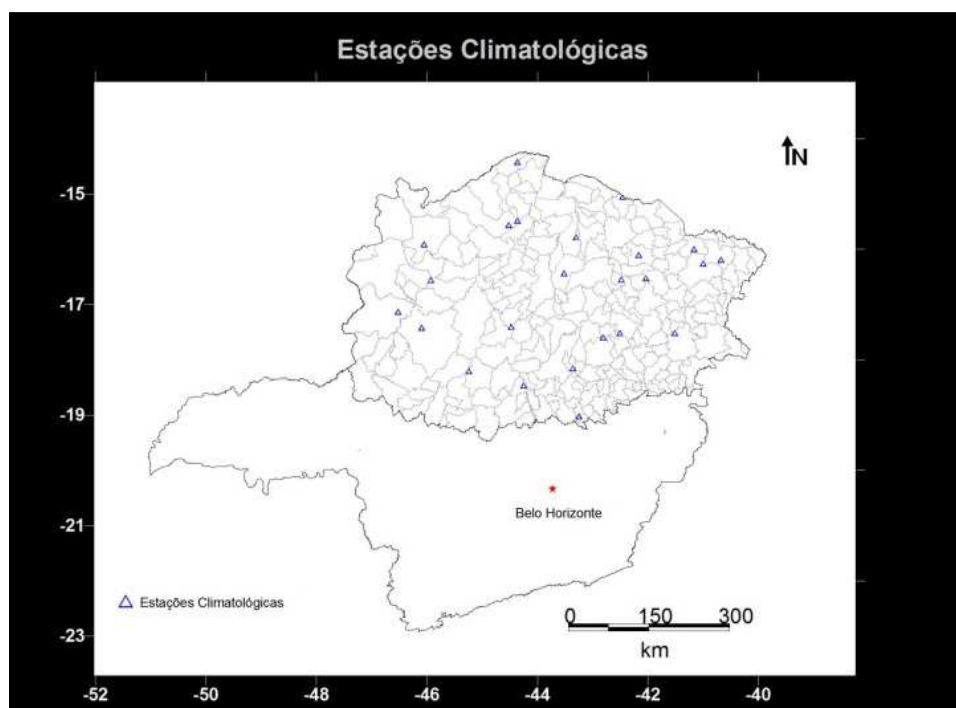


Figura 10 – Estações Climatológicas da CEMIG

Dos normais climatológicos disponibilizados, foram analisados respectivamente por estação climatológica os dados médios mensais de Radiação Solar Global, de Insolação, da Temperatura Máxima Absoluta e também a altitude no local de instalação da estação. Utilizado destes dados, de equações clássicas da física (radiação, absorção, reflexão, transmissão, Lei de Stephan Boltzmann, entre outras) e das características construtivas (materiais, dimensões, etc...) dos armários, determinou-se a possível temperatura interna destes.

Assim, utilizando recursos do software SURFER foram processadas as informações advindas do modelo matemático estabelecido, o que proporcionou a elaboração de um mapa de isolinhas que apresentou as possíveis áreas

onde os armários dos sistemas fotovoltaicos estão sujeitos a um aumento de temperatura interna, o que poderá expor os equipamentos neles abrigados a um estresse desnecessário, assim comprometendo o bom funcionamento e o rendimento do sistema ou mesmo vir a danificar os equipamentos. Nas Figuras 11 e 12, podemos observar os mapas de isolinhas de temperatura e radiação respectivamente, para a macrorregião analisada contendo os sistemas fotovoltaicos residenciais existentes.

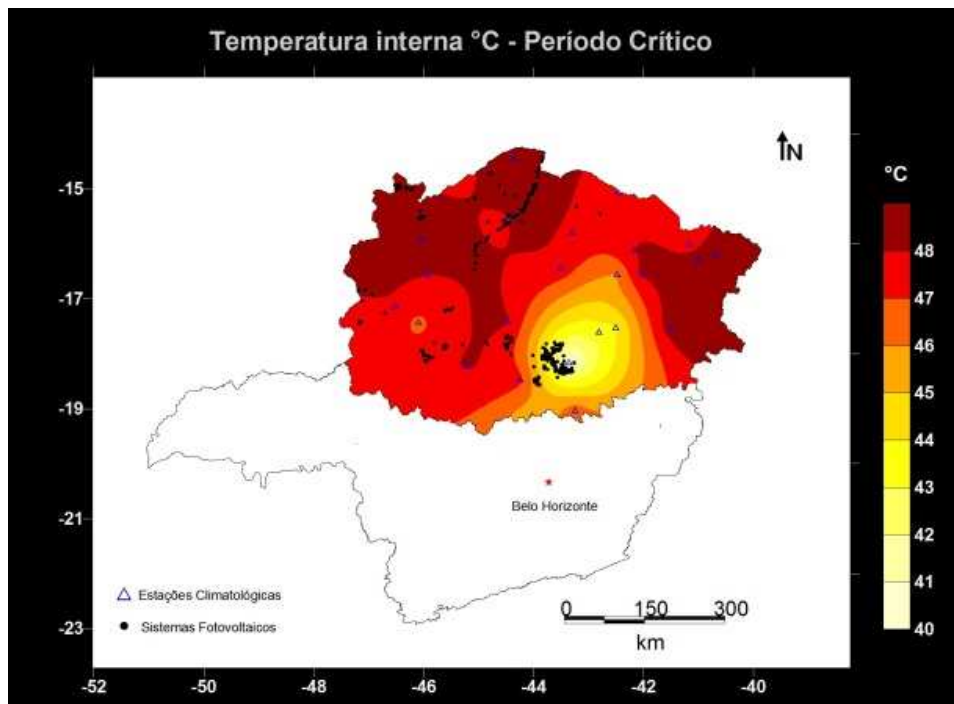


Figura 11– Mapa de isolinhas (temperatura) para a macrorregião analisada contendo os sistemas fotovoltaicos residenciais.

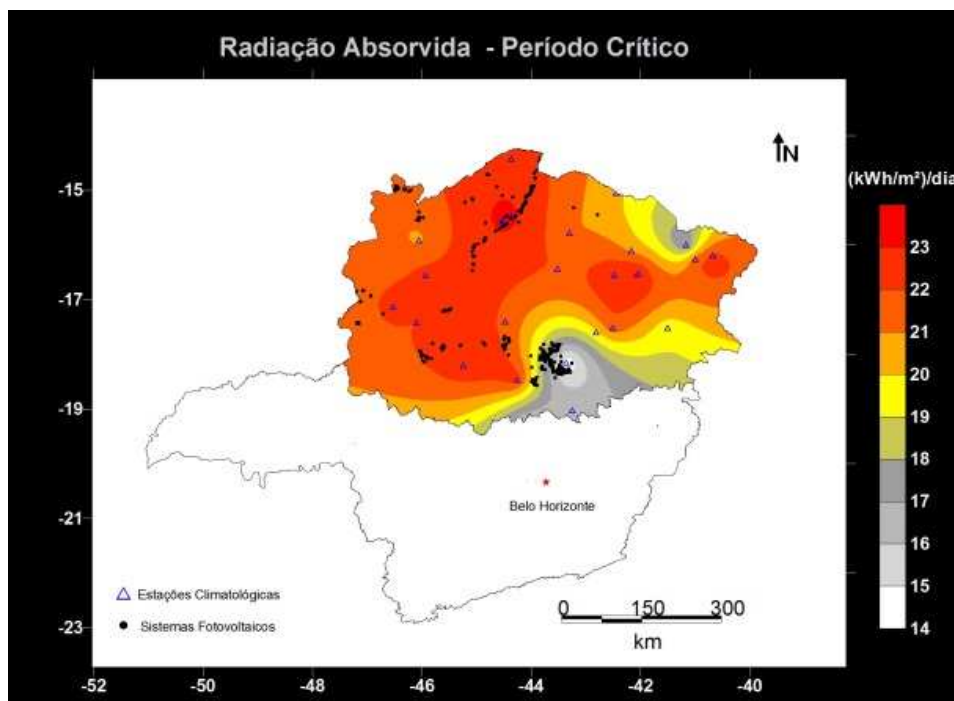


Figura 12– Mapa de isolinhas (radiação absorvida) para a macrorregião analisada contendo os sistemas fotovoltaicos residenciais.

6. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que há que a solução escolhida se mostrou adequada para mitigação das falhas nos componentes internos do armário padrão fotovoltaico.

Através deste estudo foi possível identificar uma medida para minimizar a influência da temperatura no desempenho dos equipamentos localizados no interior dos armários fotovoltaicos, através da avaliação de diferentes tintas refletivas. Os resultados mostraram que a tinta InsulPaint apresentou menores índices de temperatura em vários pontos do armário comparado com as outras marcas de tintas avaliadas, a Isocoat e a IsoReflex.

Este estudo é relevante devido a inúmeros sistemas fotovoltaicos isolados instalados em diversas regiões de Minas Gerais que apresentam elevados índices de temperatura ambiente, o que contribui para o aumento da temperatura dos equipamentos e consequentemente redução da eficiência.

Como continuidade do processo de validação da solução será testada, em campo, a solução selecionada a fim de consolidar inclusive, o processo de aplicação da tinta, uma vez que nas localidades onde estão instalados os sistemas não estão disponíveis infraestruturas adequadas para pintura.

REFERÊNCIAS

- CEMIG, 2013. ND 2.11 – Manual de Utilização de Sistemas Fotovoltaicos para a Eletrificação Rural, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.
- CEMIG, 2013. ET ED/CE-17 – Especificação Técnica Cemig – Sistemas Fotovoltaicos para Eletrificação Rural, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.
- Funari, F. L., 1984 – Insolação, radiação solar global e radiação líquida no Brasil. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia da USP, São Paulo – SP, Brasil.
- Ferreira, F. L., Prado, R. T. A., 2003 – Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo – SP, Brasil.
- GREEN/PUC-MG, 2011 – Relatório Técnico: Avaliação Térmica Armário Cemig – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Grupo de Estudos em Energias – GREEN, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.
- CETEC-MG, 2010 – Relatório Técnico – Superfícies Refletivas para Condicionamento Térmico de Armários Padrão Fotovoltaico – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC-MG, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil.
- Rodrigues, E., 2012 – Conforto Térmico das Construções – http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf consultado em 25/04/2013.
- Vieira, L., 2009 – Meteorologia e Climatologia Agrícola – Notas de aula – Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha – Paraná – Brasil.

STUDY FOR MITIGATION OF FAILURE IN INVESTERS, CONTROLLING CHARGING, AND BATTERY CAUSED BY INTERNAL TEMPERATURE RISE IN CABINETS SIGFI'S

Abstract. *This article presents the results of studies conducted by CEMIG in conjunction with the Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC / MG, with the objective to propose a solution to mitigate the occurrence of equipment failures that compose the photovoltaic systems (SIGFI'S – Individual System of Intermittent Generation Sources) installed in the region north and northeast of the state of Minas Gerais. Such equipments, inverters, controllers charge and batteries, had presented failures due to the internal temperature in the photovoltaic standard cabinets that were used for their packaging. One of the alternatives found and analyzed, in order to minimize the effect of temperature on these equipments was the application of reflective inks on the surface of the photovoltaic cabinets. Tests conducted considering three cabinets covered by different brands inks, showed that InsulPaint ink has better efficiency, since the temperatures at different points of the cabinet was smaller compared with the other.*

Key words: Solar energy, Isolated Photovoltaic Systems, Photovoltaic Cabinet, Temperature.