



**XXIII SNPTTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GPT/25
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

AValiação de sistemas fotovoltaicos isolados tipo SIGFI alimentando refrigeradores

Márcia Ramos(*)
CEPEL

Leonardo Vieira
CEPEL

Marco Antônio Galdino
CEPEL

Marta M. A. Olivieri
CEPEL

RESUMO

É apresentada avaliação do desempenho dos sistemas fotovoltaicos individuais SIGFI 20 e 30, conforme Resolução Aneel nº493/12, alimentando refrigeradores e outras cargas elétricas, em condições similares a de áreas remotas do Norte brasileiro. Foram instalados no Cepel e submetidos a ensaios de longa duração de abr/12 a dez/14, compreendendo diferentes padrões de utilização dos refrigeradores. Observou-se que os refrigeradores utilizados nos ensaios, a princípio os mesmos indicados aos usuários dos SIGFIs, não são adequados para o uso nesses sistemas, considerando as temperaturas da região Norte. Considera-se recomendável que os SIGFIs apresentem disponibilidade energética maior, caso se pretenda utilizar tais refrigeradores.

PALAVRAS-CHAVE

SIGFI, Consumo de refrigerador, Sistema fotovoltaico, Eletrificação rural

1.0 - INTRODUÇÃO

A Resolução Normativa Aneel 83/2004, posteriormente substituída pela RN 493/2012, estabeleceu as especificações para o atendimento a consumidores por meio de sistemas fotovoltaicos individuais, denominados SIGFI (Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente). Desde a primeira RN vem se acumulando no país experiência considerável na utilização dos SIGFIs em vários projetos de eletrificação rural, principalmente no âmbito do Programa Brasileiro de Universalização de Acesso à Energia (LpT – Programa Luz para Todos).

A Eletrobras verificou que os refrigeradores c.c. instalados em domicílios atendidos por sistema SIGFI (Projeto Xapuri - Acre) apresentavam consumo muito superior ao consumo especificado em seus catálogos, o que foi atribuído às condições de utilização e à temperatura ambiente. Essa questão trouxe preocupação à empresa uma vez que suas distribuidoras estavam elaborando projetos de referência com SIGFIs para atendimento de centenas de comunidades isoladas na Amazônia, considerando os valores de consumo observados nos catálogos dos refrigeradores. Em função disso, a Eletrobras solicitou ao Cepel a análise do desempenho de sistemas SIGFI para alimentação de refrigeradores em corrente contínua (c.c.) e em corrente alternada (c.a.) em conjunto a outras cargas.

Para a análise de desempenho foram instaladas duas diferentes configurações de SIGFI (20 e 30 kWh/mês, conforme RN 493/2012) na área de testes externos do Cepel, buscando simular as condições encontradas em campo. Os sistemas SIGFIs estão em operação desde abr/12, sendo continuamente monitorados até hoje.

O objetivo principal desses ensaios foi avaliar a capacidade dos sistemas SIGFI 20 e 30 de atender a uma carga correspondente a 13 kWh/mês (carga mínima prevista na RN Aneel), somada à carga de um refrigerador de baixo consumo, contemplando diferentes condições de operação, de carga térmica e de temperatura ambiente. Buscou-se, ainda, a avaliação de inversores fotovoltaicos, principalmente na condição de partida do compressor do refrigerador c.a. enquanto as demais cargas elétricas estavam em funcionamento.

2.0 - CONFIGURAÇÕES DOS SIGFIS E INFORMAÇÕES DAS CARGAS

As configurações adotadas para os sistemas SIGFIs são apresentadas a seguir. O dimensionamento de ambos os sistemas foi efetuado de acordo com a metodologia descrita em Soares *et alli*, 2010 (1), considerando o conjunto de parâmetros da Tabela 1.

TABELA 1 – Conjunto de parâmetros utilizados para o dimensionamento dos SIGFIs.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Irradiação solar	3,73 kWh/m ² .dia
Autonomia	2 dias
Eficiência do inversor	80%
Eficiência das baterias	85%
Profundidade máxima de descarga das baterias	50%
Fator de segurança para as baterias	1,5
Fator de <i>derating</i> para o painel FV	0,72

Para ambos os sistemas SIGFI 20 e 30, além do refrigerador, foi prevista uma carga extra c.a. de 440 Wh/dia (~13 kWh/mês) para cada sistema, correspondente às demais cargas elétricas das residências. Para tal, constituiu-se uma carga resistiva implementada por meio de lâmpadas incandescentes de 40 W e 200 W, controladas por temporizadores, de acordo com a curva de carga mostrada na Figura 1.

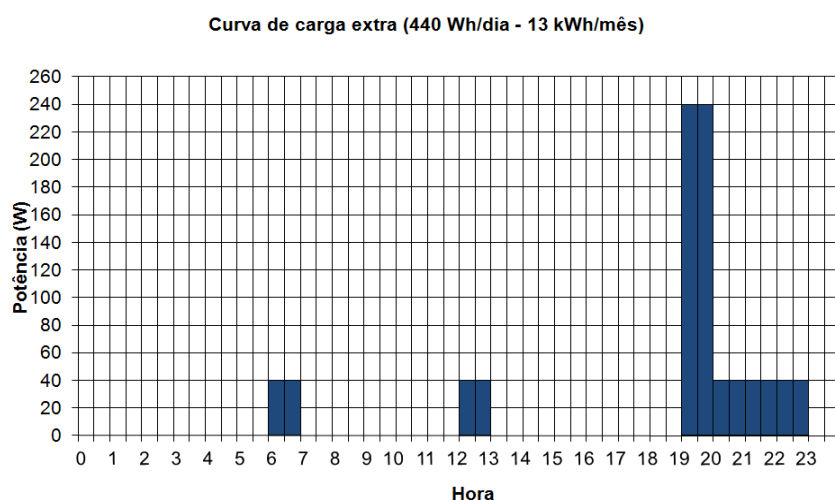


FIGURA 1 – Curva simulada para a carga da residência, além do refrigerador, considerando uma concentração de demanda no período de 19-20h.

Em comparação com uma curva de carga considerada típica para consumidores isolados (Eletrobras, 2010b (2)), a curva mostrada na Figura 1 apresenta o mesmo consumo diário, porém uma maior concentração no horário entre 19h e 20h. Esta modificação em relação à curva de carga considerada típica foi adotada visando à avaliação do inversor do SIGFI também em condições extremas de potência, próximas aos valores máximos exigidos pela regulamentação da Aneel.

O SIGFI 20 foi testado visando a alimentação de um refrigerador c.c., enquanto que o SIGFI 30 foi testado visando a alimentação de um refrigerador c.a. de baixo consumo. As configurações de ambos os sistemas são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 – Características dos sistemas SIGFI 20 e SIGFI 30.

Sistema Fotovoltaico	SIGFI 20	SIGFI 30
Painel Fotovoltaico	371 Wp (7 módulos fotovoltaicos de 53 Wp associados em paralelo)	530 Wp (10 módulos fotovoltaicos de 53 Wp, sendo 5 conjuntos de 2 módulos em série, associados em paralelo)
Banco de Baterias	6,3 kWh (5 baterias de 105 Ah e 12 V em paralelo)	8,64 kWh (4 baterias de 180 Ah e 12 V, sendo 2 conjuntos de 2 baterias em série, associados em paralelo)
Tensão c.c./c.a.	12 V _{cc} / 120 V	24 V _{cc} / 120 V
Inversor	400 W, V _{cc} = 12 V, V _{ca} = 120 V, 60 Hz ⁽¹⁾	600 W, V _{cc} = 24 V, V _{ca} = 120 V, 60 Hz ⁽²⁾
Controlador de carga	Controlador de carga/descarga 30 A	Controlador de carga 35 A
Refrigerador	Refrigerador c.c. Elber modelo Freezer HRE 150 (150 L) Consumo declarado em catálogo: 5,2 kWh/mês	Refrigerador c.a. Continental modelo RC28 (252 L) Consumo declarado em catálogo: 15,8 kWh/mês
Carga extra c.a.	440 Wh/dia (~13 kWh/mês); implementada por lâmpadas incandescentes	

Notas: 1) Foram testados dois outros inversores de 300 W, de diferentes fabricantes nacionais.

2) Foi testado outro inversor de 500 W de diferente fabricante (nacional).

3.0 - ENSAIOS E RESULTADOS

Nos ensaios realizados, a carga térmica adicional para os refrigeradores é composta por duas parcelas, uma relativa às cargas internas e a outra, decorrente da abertura de porta do refrigerador, conforme se segue:

- cargas térmicas internas:
 - garrafas plásticas com água, num total de 5 L, inicialmente à temperatura ambiente, renovadas diariamente entre 12h e 13h;
 - garrafas plásticas com água, num total de 15 L, inicialmente à temperatura ambiente, com troca de cada 5 L uma vez ao dia, num total de três trocas, por volta das 8h, 12h e 16h30m.
- carga térmica proveniente da abertura de porta (durante os dias de semana):
 - número de aberturas: 3 por dia;
 - tempo de cada abertura: 1 minuto;
 - ângulo de abertura da porta: 90 graus;
 - horários aproximados das aberturas: 8h, 12h e 16h30m.

Foram realizados ensaios com trocas de carga térmica diária de 5 L e 15 L para simular duas diferentes possíveis condições de uso residencial. A lista das diferentes condições adotadas para os ensaios é apresentada abaixo.

- Ensaio sem carga térmica adicional e sem abertura de porta:
 - refrigerador mantido com as portas fechadas;
 - nenhuma carga adicional interna;
 - posição do termostato: máximo para o refrigerador c.c. e posições: mínimo, médio e máximo para o refrigerador c.a.
- Ensaio com carga térmica adicional de 5 L e sem abertura de porta:
 - carga térmica adicional constituída por 5 L de água, inicialmente à temperatura ambiente;
 - refrigerador mantido com as portas fechadas;
 - posições do termostato: máximo para o refrigerador c.c. e mínimo para o refrigerador c.a.
- Ensaio com carga térmica adicional de 5 L e abertura de porta:
 - carga térmica adicional constituída por 5 L de água, inicialmente à temperatura ambiente, renovada diariamente entre 12h e 13h;
 - refrigerador aberto 3 vezes por dia, com tempo de cada abertura de 1 minuto e ângulo de abertura da porta de 90 graus;
 - horários aproximados das aberturas: 8h; 12h e 16h30m;
 - posições do termostato: máximo para o refrigerador c.c. e mínimo para o refrigerador c.a.
- Ensaio com carga térmica adicional de 15 L e abertura de porta:
 - carga térmica adicional constituída por 15 L de água, inicialmente à temperatura ambiente, com 3 trocas ao dia, cada uma de 5 L;

- refrigerador aberto 3 vezes por dia, com tempo de cada abertura de 1 minuto e ângulo de abertura da porta de 90 graus;
- troca de carga térmica adicional e abertura de porta realizadas simultaneamente, nos horários aproximados de: 8h; 12h e 16h30m;
- posições do termostato: máximo para o refrigerador c.c. e médio para o refrigerador c.a.
- Ensaios com carga térmica adicional de 15 L e sem abertura de porta:
 - uma carga térmica adicional constituída por 15 L de água, inicialmente à temperatura ambiente;
 - refrigerador mantido com as portas fechadas;
 - posições do termostato: máximo para o refrigerador c.c. e médio para o refrigerador c.a.
- Ensaios sem carga térmica adicional e com abertura de porta:
 - refrigerador aberto 3 vezes por dia, com tempo de cada abertura de um minuto e ângulo de abertura da porta de 90 graus;
 - posições do termostato: máximo para o refrigerador c.c. e médio para o refrigerador c.a.

Os ensaios sem carga térmica adicional e sem abertura de porta tiveram como objetivo determinar o consumo mínimo do refrigerador para servir como referência para os ensaios com abertura de porta.

3.1 SIGFI 20

Inicialmente os ensaios foram realizados com um refrigerador c.c. de 80 L, porém, em função de não ter sido possível ajustar a temperatura interna do refrigerador para aproximadamente 5 °C, considerada a temperatura adequada para fins de refrigeração de alimentos, este foi substituído pelo refrigerador de 150 L, de consumo semelhante. Para o refrigerador de 150 L esta temperatura interna foi alcançada somente com o termostato ajustado na posição de máximo.

A Figura 2 apresenta o efeito da temperatura ambiente no consumo do refrigerador c.c. Confirmou-se que o consumo do refrigerador aumenta consideravelmente em função da temperatura ambiente e da realização de aberturas de porta e inserção de cargas. O gráfico mostra ainda que a permanência de cargas de 5 L e de 15 L no interior do refrigerador c.c, sem que sejam efetuadas aberturas de porta, não produz uma variação significativa no consumo de energia elétrica do refrigerador. O mesmo ocorre com os ensaios com abertura de porta, estando o refrigerador sem carga interna. O gráfico da Figura 2 aponta para um consumo do refrigerador de cerca de 580 Wh/dia (~17,5 kWh/mês) a uma temperatura ambiente média diária de 30 °C (típica da região Norte) e troca de carga de 5 L em cada uma das três aberturas realizadas por dia (total de 15 L/dia).

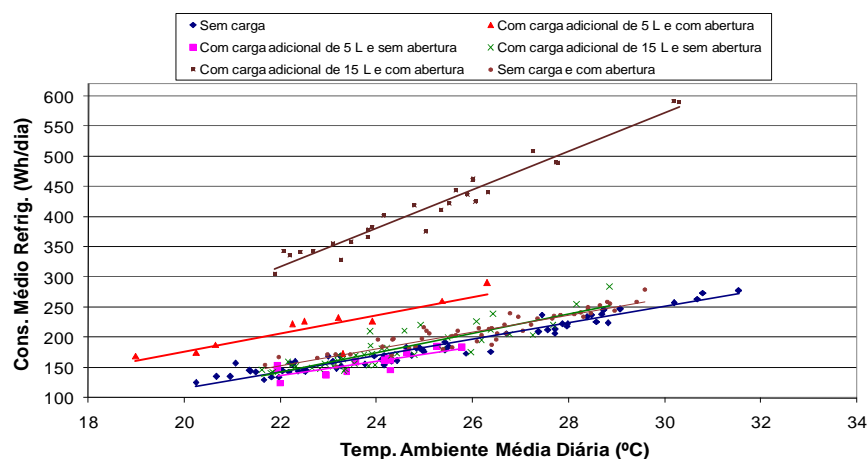


FIGURA 2 – Consumo médio do refrigerador c.c. em função da temperatura ambiente (temperatura interna do refrigerador 5 °C).

O gráfico da Figura 2 aponta para um consumo do refrigerador de cerca de 270 Wh/dia (~8 kWh/mês) a uma temperatura ambiente de 26 °C, com temperatura interna do refrigerador mantida a 5 °C, três aberturas de porta por dia e uma troca diária de carga de 5 L (às 12h). Para trocas de carga térmica de 5 L em cada uma das três aberturas, ou seja troca de 15 L por dia, o consumo do refrigerador passa a aproximadamente 430 Wh/dia (~13 kWh/mês), nas mesmas condições de temperatura.

O valor de consumo do refrigerador c.c. constante no manual do fabricante era de 5,2 kWh/mês (~175 Wh/dia), similar ao consumo medido na seguinte condição: termostato no máximo, sem aberturas de porta, temperatura interna média de 5 °C e temperatura ambiente de 25 °C. Observa-se na Figura 2 que cargas térmicas e/ou

temperaturas ambientes maiores resultam em valores de consumo superiores.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios sem carga e com cargas internas de 5 e 15 L, mantendo-se a temperatura interna do refrigerador por volta dos 5 °C (termostato no máximo).

TABELA 3 – Resumo dos resultados obtidos com refrigerador c.c. de 150 L.

Termostato no máximo para todas as condições	Sem carga interna e sem abertura	Carga interna de 5 L		Carga interna de 15 L		Sem carga interna e com 3 aberturas
		Sem abertura	Com 3 aberturas e troca de carga	Sem abertura	Com 3 aberturas e troca de carga	
Consumo do refrigerador (kWh/mês)	5,7	4,7	6,5	5,4	12,5	6,3
Temperatura ambiente média (°C)	25,5	23,8	22,7	24,3	25,1	26,1
Temperatura interna média (°C)	4,6	4,6	4,8	4,6	4,5	4,5

Os valores indicados na Tabela 3 correspondem às médias das medições realizadas no período de avaliação de cada um dos ensaios. Nota-se que a temperatura interna praticamente não se alterou em todos os ensaios, porém com a abertura da porta e introdução de carga interna de 5 L (uma troca diária de 5 L), o consumo apresentou um aumento considerável. Observa-se, ainda, que a introdução de carga interna de 15 L (3 trocas diárias de 5 L) aumentou também significativamente o consumo do refrigerador em relação ao consumo com uma única troca diária de 5 L.

Durante o período de realização dos ensaios foram verificados desligamentos do sistema (faltas de energia, por atuação da proteção do controlador de carga contra descarga excessiva das baterias) tanto em dias com troca de carga térmica quanto em dias sem aberturas. Estes desligamentos ocorreram em dias com irradiação inferior a 1,8 kWh/m².dia e temperatura ambiente média abaixo de 30 °C, mesmo em casos com irradiação no dia anterior acima do valor de projeto (3,7 kWh/m².dia).

Conforme determinado pela Aneel, o sistema SIGFI 20 deve ter um inversor de pelo menos 250 W. Inicialmente, o inversor disponível no Cepel era um inversor importado de 400 W, que seria utilizado até a aquisição de outro de potência inferior. Foram comprados dois inversores senoidais, de diferentes fabricantes nacionais, ambos de 300 W. Após a substituição do inversor de 400 W pelo inversor do fabricante A, apesar deste inversor ter atendido normalmente à carga do sistema, foi verificado que ele inseria ruído eletromagnético no circuito, de forma a não permitir as medições dos sinais durante o ensaio e, por isso, este inversor não foi mais utilizado. Entramos em contato com o fabricante para que ele melhorasse a compatibilidade eletromagnética do seu inversor. Ao ser utilizado o inversor do fabricante B, por sua vez, ocorreram desligamentos repetitivos do mesmo. Verificou-se que o ajuste de tensão c.c. (desligamento por baixa tensão da bateria) estava muito alto. Este inversor foi enviado ao fabricante para alteração do nível de tensão de desligamento, mas não retornou a tempo de ser reutilizado nos ensaios. Desta forma, o inversor de 400 W foi reinstalado e todos os resultados do SIGFI 20 aqui apresentados foram obtidos com esse inversor.

Diferentemente do ensaio com o refrigerador c.a., descrito no próximo item, houve um número reduzido de dados válidos observados em diferentes condições de temperatura interna. Isso foi devido a alguns problemas técnicos ocorridos ao longo dos ensaios, e, assim, não foi possível obter equações de estimativa de consumo do refrigerador c.c. em função das temperaturas interna e ambiente.

3.2 SIGFI 30

Nos ensaios do SIGFI 30, o termostato do refrigerador c.a., de 252 L, sem carga térmica adicional, foi ajustado em 3 posições distintas: mínimo, médio e máximo. Os resultados mostram que existe uma pequena influência da temperatura ambiente na temperatura interna média do refrigerador, independentemente da posição do termostato. No entanto, por outro lado, existe uma elevada influência da temperatura ambiente no consumo do refrigerador. A influência observada é aproximadamente linear para as 3 posições do termostato.

Com os dados de consumo medidos, nas 3 posições do termostato do refrigerador c.a., foi ajustada uma expressão do tipo linear para a estimativa do seu consumo sem cargas térmicas adicionais. A expressão ajustada resultou na Equação 1, onde os seus coeficientes foram determinados minimizando-se o desvio padrão entre o consumo medido e o consumo ajustado.

$$\text{Consumo}_{\text{ajustado}} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{dia}} \right) = -372,3 - 40 \cdot T_{\text{interna}} (^\circ\text{C}) + 37 \cdot T_{\text{ambiente}} (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

Como o coeficiente da temperatura interna é negativo e o coeficiente da temperatura ambiente é positivo, o consumo do refrigerador diminui com o aumento da temperatura interna e cresce com o aumento da temperatura ambiente. Com base na Equação 1, pode-se estimar o consumo do refrigerador, sem carga térmica adicional, para diferentes condições de temperatura interna e externa.

Na Figura 3, são apresentados os valores médios diários de consumo do refrigerador c.a. utilizado. Os valores das temperaturas internas médias do refrigerador são apresentados próximo às respectivas curvas de consumo ajustadas. Confirma-se que a introdução de cargas térmicas e as aberturas da porta elevam a temperatura interna média do refrigerador, para uma mesma posição do termostato. Por este motivo, nos ensaios com carga adicional de 15 L com abertura, foi necessário mudar o ajuste do termostato da posição de mínimo para médio, de forma a manter a temperatura interna em torno de 5 °C, o que ocasionou um grande aumento no consumo do refrigerador.

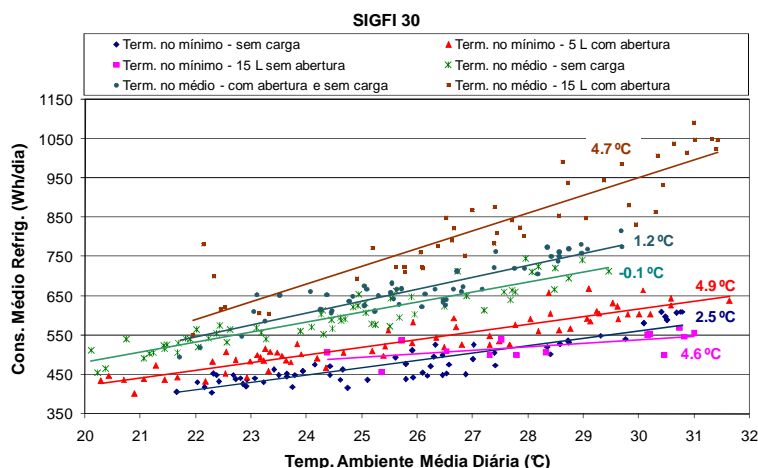


FIGURA 3 – Consumo médio do refrigerador c.a. em função da temperatura ambiente.

O gráfico da Figura 3 indica um consumo do refrigerador de cerca de 630 Wh/dia (~19 kWh/mês) a uma temperatura de 30 °C (típica da região Norte), com temperatura interna do refrigerador mantida a 5 °C, 3 aberturas por dia e uma troca de carga de 5 L. Para trocas de carga de 5 L em cada uma das três aberturas (total de 15 L por dia), o consumo do refrigerador atinge aproximadamente 970 Wh/dia (~29 kWh/mês), ou seja, praticamente a disponibilidade de energia do SIGFI 30.

O valor de consumo do refrigerador c.a. RC28 constante na tabela do Inmetro¹, era de 15,8 kWh/mês (~527 Wh/dia), similar ao consumo medido na seguinte condição: termostato no mínimo, 3 aberturas de porta e uma troca de carga de 5 L, temperatura interna média de 5 °C e temperatura ambiente de 25 °C. Observa-se na Figura 3 que cargas e/ou temperaturas ambientes maiores resultam em valores de consumo superiores.

A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios sem carga, com carga interna adicional de 5 e 15 L, com e sem aberturas de porta. Os valores indicados correspondem às médias das medições realizadas no período de avaliação de cada um dos ensaios.

TABELA 4 – Resumo dos resultados obtidos com refrigerador c.a. de 252 L.

	Sem carga interna e sem abertura			Carga interna de 5 L com termostato no mínimo		Carga interna de 15 L com termostato no médio		Sem carga interna com termostato no médio e com abertura
	Term. Mín.	Term. Médio	Term. Máx.	Sem abertura	Com abertura e troca	Sem abertura	Com abertura e troca	
Consumo (kWh/mês)	14,4	17,9	25,2	14,3	16,0	19,9	24,9	20,2
Temperatura ambiente média (°C)	25,7	24,5	24,4	25,6	25,8	26,7	27,3	26,1
Temperatura interna média (°C)	2,5	-0,3	-6,1	3,1	4,9	0,5	4,7	1,2

O gráfico da Figura 4 permite uma melhor visualização da elevação do consumo do refrigerador em função da introdução de cargas adicionais em comparação com o refrigerador sem carga e sem abertura. Todos os pontos de consumo são referenciados às mesmas temperaturas ambiente e interna. Para fins de avaliação, comparam-se os resultados medidos de consumo do refrigerador com aqueles obtidos por meio da Equação 1.

¹ Os ensaios do Inmetro no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem tem por finalidade comparar o consumo entre equipamentos similares, e são realizados em condições diferenciadas daquelas adotadas para este trabalho.

Nessa figura encontram-se representados os pontos correspondentes às várias medições efetuadas e três linhas distintas: uma linha central correspondente à curva de ajuste dos pontos de consumo dos ensaios sem cargas adicionais e sem aberturas de porta, e duas linhas paralelas, acima e abaixo, que estabelecem o intervalo de confiança de 95% desta curva de ajuste, correspondente a duas vezes o desvio padrão do ajuste efetuado. Desta forma, os pontos fora desta faixa de confiança são indicativos de consumos do refrigerador estatisticamente diferentes daqueles consumos medidos sem carga adicional.

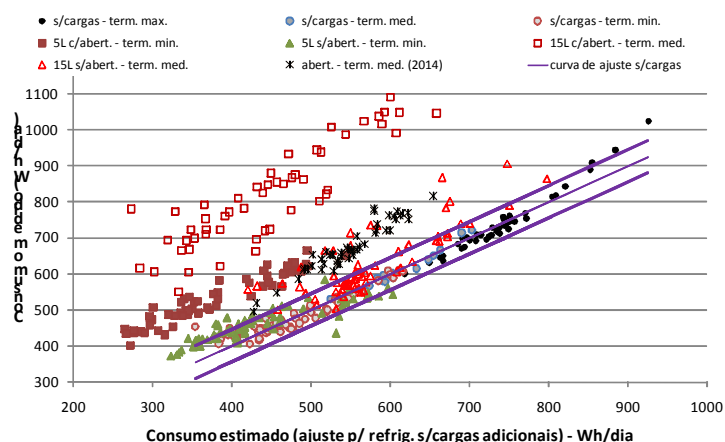


FIGURA 4 – Efeito das cargas adicionais no consumo do refrigerador c.a.

Na Figura 4, os pontos relativos ao consumo medido com cargas adicionais encontram-se fora do intervalo de confiança, o que indica o aumento do consumo do refrigerador nestas condições. As médias das diferenças entre as medições com carga térmica adicional em relação ao consumo ajustado sem carga (utilizando a Equação 1), para as mesmas condições de temperaturas interna do refrigerador e ambiente, foram de 41% para carga adicional de 5 L e de 87% para carga de 15 L. Entretanto, as medições com cargas internas sem aberturas, em sua maioria, encontram-se dentro do intervalo de confiança, de forma que neste caso não se pode concluir que houve aumento do consumo.

Cabe lembrar que todos os resultados acima apresentados foram obtidos com o refrigerador c.a. operando com camada de gelo no interior do congelador com espessura inferior ao limite especificado no manual do fabricante. Observou-se que a formação de camada de gelo mais espessa ocasionou aumento da temperatura média interna do refrigerador para aproximadamente 10 °C, mantendo-se o consumo do mesmo, o que indica a redução da eficiência do equipamento. Em condições reais de operação, isso pode resultar em maior consumo, uma vez que o usuário tenderá a alterar o ajuste do termostato para compensar o aumento da temperatura interna.

Durante o período de realização dos ensaios foram verificados desligamentos do sistema (faltas de energia, por atuação da proteção do inversor contra descarga excessiva das baterias) tanto em dias com troca de carga (5 L e 15 L), quanto em dias sem aberturas. Nos ensaios com 5 L, a maioria dos desligamentos ocorreu no período de inverno, enquanto nos ensaios com 15 L os desligamentos foram registrados mesmo durante o verão. Em ambos os casos, a maior parte dos desligamentos ocorreu com temperatura ambiente menor que 25 °C. Na condição de ensaio de carga de 15 L, foram observados desligamentos sempre que a irradiação no dia era igual ou inferior a 2 kWh/m².dia, mesmo após uma sequência de dias com irradiação alta (superior a 4 kWh/m².dia).

Conforme determinado pela Aneel, o SIGFI 30 deve ter um inversor de pelo menos 500 W. Inicialmente os ensaios foram realizados com o inversor senoidal importado de 800 W disponível no Cepel. Posteriormente, foram adquiridos dois inversores senoidais, de 500 W e de 600 W, certificados pelo Inmetro, de diferentes fabricantes nacionais. Após a substituição do inversor de 800 W pelo inversor de 500 W, apesar deste ter atendido normalmente à carga do sistema, foi verificado que o sistema estava com muito ruído nas medições, inserido pelo inversor, a exemplo do que ocorreu no SIGFI 20. O nível de ruído não permitia a medição dos sinais durante o ensaio. O restante dos ensaios foi realizado com o inversor nacional de 600 W que atendeu à carga do sistema e não inseriu ruído. Inclusive atendeu à demanda de partida do compressor do refrigerador, de aproximadamente 940 VA, num intervalo de cerca de 1 segundo (sendo a potência ativa nominal do refrigerador de 60 W).

4.0 - CONCLUSÃO

4.1 SIGFI 20

O refrigerador c.c. de 150 L utilizado nos ensaios apresenta, segundo informações do seu fabricante, consumo inferior a qualquer refrigerador c.a. existente atualmente no mercado brasileiro, inclusive os frigobares de volumes

similares, e, a princípio, poderia ser uma opção para uso em sistemas fotovoltaicos, ainda mais porque sua alimentação independe do inversor (equipamento que apresenta maior número de falhas em relação ao controlador e aos módulos nos sistemas fotovoltaicos isolados). Entretanto, os refrigeradores c.c. apresentam algumas desvantagens relevantes em relação aos refrigeradores convencionais c.a.: preço elevado; pouca oferta no mercado nacional; além de baixa disponibilidade de serviço de manutenção e peças de reposição.

Nos ensaios realizados com o refrigerador c.c. de 150 L, com troca diária de carga térmica de 15 L, sendo a troca de 5 L em cada uma das três aberturas, operando com temperatura interna de 5 °C e na faixa de temperatura ambiente esperada para a região Norte (por volta de 30 °C), observou-se um consumo mensal de aproximadamente 17,5 kWh/mês. Este valor é muito elevado para o SIGFI 20, uma vez que se assume que o sistema deverá, ainda, atender às outras cargas da residência como, no mínimo, lâmpadas e TV, perfazendo 13 kWh/mês. Além disso, a carga térmica em condições reais de operação poderá ser superior à carga de 15 L utilizada no ensaio, pois esta corresponde a apenas 10% do volume do refrigerador.

Observou-se, ainda, que em dias de baixa irradiação (inferior a 1,8 kWh/m².dia) houve desligamentos do sistema mesmo em dias sem troca de carga térmica e sem abertura do refrigerador, com irradiação no dia anterior acima do valor de projeto e temperatura ambiente média inferior a 30 °C. Este fato indica que o sistema apresentou autonomia inferior a 2 dias, ou seja, menor que a especificada na RN Aneel nº 493/2012. Tudo indica, portanto, que este refrigerador c.c. provavelmente só poderá ser utilizado em um sistema SIGFI 30 ou maior.

4.2 SIGFI 30

Nos ensaios realizados o inversor nacional de 600 W funcionou adequadamente, atendendo à demanda do refrigerador durante as partidas do compressor, cuja potência de pico medida foi de aproximadamente 940 VA, num intervalo de cerca de 1 segundo, sendo sua potência nominal de ~80 VA. Desta forma, é importante que a especificação do inversor considere uma potência de surto de pelo menos 10 vezes a potência aparente nominal do refrigerador, por 1 a 2 segundos.

Os dados disponíveis indicam que o refrigerador, com troca diária de 5 e de 15 L, operando com temperatura interna de 5 °C e na faixa de temperatura ambiente esperada para a região Norte (cerca de 30 °C), deverá ter um consumo de aproximadamente 23 e 30 kWh/mês, respectivamente. Estes valores são elevados para o SIGFI 30, considerando as demais cargas da residência e que, num refrigerador de 252 L, a carga térmica adicional poderá ser superior às cargas adotadas nos ensaios.

Na condição de ensaio de carga de 15 L mesmo em condições de temperatura ambiente inferior a 30 °C, foram observados desligamentos sempre que a irradiação no dia era igual ou inferior a 2 kWh/m².dia, mesmo após uma sequência de dias com irradiação alta. Estes resultados apontam que o sistema SIGFI 30 não apresentou a autonomia de 2 dias prescrita pela Aneel alimentando o refrigerador c.a. utilizado no ensaio.

Vale observar que o refrigerador Continental modelo RC28 não está mais sendo fabricado. Os refrigeradores listados na tabela do Inmetro, publicada em fev/15, com menor consumo de energia elétrica, são modelos similares ao refrigerador testado, porém apresentam consumo de 19,5 kWh/mês (conforme ensaios padronizados de porta fechada), superior ao do modelo utilizado nos ensaios no Cepel. A opção de frigobar não foi testada, pois na data do início dos ensaios eles apresentavam consumo superior ao refrigerador RC28. Conclui-se, assim, que o sistema SIGFI 30 não é adequado para o uso de refrigeradores c.a. existentes no mercado brasileiro, nas condições de temperaturas esperadas na região Norte do país.

Ressalta-se que os ensaios com os SIGFIs 20 e 30, mostraram, em diferentes condições de temperatura e carga, consumos medidos para os refrigeradores muito superiores àqueles informados em seus manuais, portanto, a utilização dos valores de catálogo para fins de dimensionamento dos SIGFIs não é considerada adequada. É importante lembrar que os ensaios no Cepel visaram reproduzir condições reais de utilização dos refrigeradores em campo, diferentes, portanto, das padronizadas nos ensaios do Inmetro e possivelmente também dos fabricantes.

Finalmente vale observar que os refrigeradores c.c. e c.a. ensaiados apresentaram consumos específicos (consumo por unidade de volume interno - Wh/mês.L) equivalentes, na faixa de 25 a 30 °C de temperatura ambiente, considerando carga térmica adicional de 15 L.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Soares, G.F.W.; Vieira, L.S.R.; Galdino, M.A.E. (Cepel); Olivieri, M.M.A.; Borges, E.L.P.; Carvalho, C.M.; Lima, A.A.N. (Eletrobras), 2010. Comparação De Custos Entre Sistemas Fotovoltaicos Individuais e Minicentrals Fotovoltaicas Para Eletrificação Rural. Artigo para III Congresso Brasileiro de Energia Solar - Belém, 21 a 24 de setembro de 2010.

(2) Eletrobras (Lima, A.A.N.; Olivieri, M.M.A.; Borges, E.L.P.; Carvalho, C.M.), 2010b. Energia Solar Fotovoltaica e Universalização do Atendimento de Energia Elétrica em Áreas Remotas. SENDI - São Paulo, novembro de 2010.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Márcia da Rocha Ramos

Nascida no Rio de Janeiro em 1971

Graduada em Engenharia Elétrica pelo CEFET-RJ, em 1995

Em 1997 recebeu o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela PUC-RJ

Atua na área de Energias Renováveis no CEPEL