

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

DOUGLAS CASSIANO ALDEBRAND

**ESTUDO DE UM REFRIGERADOR CONECTADO A UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID*, AVALIANDO SEU DESEMPENHO, VOLTADO
PARA USO EM COMUNIDADES ISOLADAS**

São Leopoldo
2019

DOUGLAS CASSIANO ALDEBRAND

**ESTUDO DE UM REFRIGERADOR CONECTADO A UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID*, AVALIANDO SEU DESEMPENHO, VOLTADO
PARA USO EM COMUNIDADES ISOLADAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia, pelo Curso de Engenharia de Energia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Mario Henrique Macagnan

São Leopoldo

2019

**ESTUDO DE UM REFRIGERADOR CONECTADO A UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID*, AVALIANDO SEU DESEMPENHO, VOLTADO
PARA USO EM COMUNIDADES ISOLADAS**

Douglas Cassiano Aldebrand*

Mario Henrique Macagnan **

Resumo: Sistemas de refrigeração, principalmente refrigeradores domésticos, são de grande importância para a sociedade, possibilitando aumento da qualidade de vida, saúde, conservação de diferentes produtos alimentícios e medicamentos, minimizando as deteriorações bioquímicas e proliferações de microrganismos que estão atreladas a exposição destes produtos a altas temperaturas. A crescente utilização de tecnologias através de fontes renováveis, como a energia solar fotovoltaica, possibilita que consumidores em regiões com infraestrutura ou condições precárias de acesso à energia elétrica possam utilizar sistemas de refrigeração, e através de sistemas de armazenamento de energia, possam ter acesso a sistemas de refrigeração. Este trabalho desenvolve uma metodologia de ensaio, com baixo custo, que identifica e analisa o funcionamento de um refrigerador doméstico e o seu consumo de energia quando conectado a um sistema fotovoltaico *offgrid*. Os resultados obtidos mostraram que a frequência entre os tempos de abertura e o fechamento de porta, impacta diretamente no consumo de energia. Quando comparado ao intervalo de 30 minutos com o de 15 minutos, o aumento representa 6,03%, e quando comparado com o intervalo de 5 minutos há o acréscimo de 17,57 % no consumo do refrigerador. A potência média observada em intervalos de 5 minutos foi de 67,77 W, enquanto que em intervalos de 30 minutos a potência média representou um valor de 33,33 W, ou seja, o banco de baterias deve ser projetado para comportar diferentes exigências da carga.

* Graduando no curso de Engenharia de Energia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.
E-mail: douglas_aldebrand@hotmail.com

** Doutorado em Engenharia pela Universidade Politécnica de Madrid, Professor e Pesquisador no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNISINOS.

1 INTRODUÇÃO

Energia limpa e sustentável, para locais de difícil acesso, pode ser considerada um dos grandes desafios desse século. Presente desde os primórdios da vida, a energia proveniente do Sol, considerada interminável, é uma das alternativas para suprir as necessidades energéticas. De acordo com o World Energy Outlook (2018), onde, no ano de 2017, pela primeira vez, o número de pessoas sem acesso a eletricidade caiu abaixo de 1 bilhão, porém está aquém das metas globais. O mesmo relatório prevê também, que 700 milhões de pessoas não terão alcance à energia elétrica até 2040.

Um dos grandes desafios para o acesso à rede elétrica em áreas rurais, deve-se às características geográficas, pois além das condições financeiras dos países, a extensão territorial pode ser um limitante, tornando-a inviável. Ainda, os povoados e assentamentos que permanecem praticamente isolados, demandam baixa quantidade de energia. Na Nigéria, por exemplo, constatou-se que o custo para gerar energia é até três vezes maior em empresas rurais comparado às empresas que tem acesso à energia elétrica (AKPAN; ESSIEN; ISIHAK, 2013). A maioria das áreas rurais da África necessitará de sistemas solares fotovoltaicos.

Estudos mostraram que sistemas descentralizados, quando atingem grupos de consumidores desfavorecidos, despertam o empreendedorismo local e ainda auxiliam na educação e vida social das pessoas (MOHANTY; MUNNER; KOLHE, 2016).

Sistemas autônomos de geração de energia, conectados aos refrigeradores, quando aplicados em locais de difícil acesso, podem ser utilizados para a conservação de alimentos e remédios, minimizando a deterioração e a proliferação de microrganismos, impactando na melhoria da qualidade de vida da população, auxiliando assim o desenvolvimento socioeconômico.

O consumo de energia no Brasil vem evoluindo, impulsionado principalmente pela melhor distribuição de renda e economia mais desenvolvida. Os principais responsáveis pelo significativo consumo de eletricidade são os refrigeradores, equipamentos de ar-condicionado e iluminação. A energia solar fotovoltaica, em grande crescimento no país, é uma das alternativas que pode ser utilizada para suprir a necessidade energética e impulsionar mais ainda a economia brasileira.

O presente trabalho visa desenvolver uma metodologia de ensaio, com baixo custo, que identifique e analise o funcionamento de um refrigerador doméstico e o seu consumo de energia, montando e instrumentando um sistema autônomo de energia solar fotovoltaica, onde analisa o consumo em diferentes características de operação.

Através da análise de comportamento das temperaturas internas do refrigerador, calcular um coeficiente de performance conforme o desempenho do refrigerador, simulando os impactos como um todo no sistema de armazenamento, onde analisa-se os parâmetros elétricos do sistema tais como fator de potência, e seus componentes

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A refrigeração solar se torna muito propícia quando utilizada em áreas isoladas sem acesso à energia elétrica e fornecimento de combustíveis para utilização em geradores. Cabe salientar que refrigeradores domésticos são fabricados para utilização onde temos energia elétrica contínua disponível, e ainda exigem potências elevadas. No entanto, devido a sua disponibilidade, ter vida útil prolongada e fácil manutenção, a alternativa de refrigeração por compressão mecânica do vapor é a mais popular e mais utilizada, pois a tecnologia já está estabelecida, além de ser fabricada em escala comercial.

Em países desenvolvidos, os sistemas de refrigeração por compressão a vapor são responsáveis por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica, embora possíveis aumentos sejam perceptíveis quando em mau funcionamento. Entretanto, seu uso vem crescendo em países menos desenvolvidos economicamente, sendo que no ano de 2015 existiam cerca de 1,7 bilhão de refrigeradores no mundo. A indústria alimentícia cresceu devido ao desenvolvimento da refrigeração pois, conforme Belman-Flores *et al.* (2015), mais de 45% da produção mundial de alimentos estragaria se não fosse pelo armazenamento e distribuição refrigerada.

O desenvolvimento na indústria de refrigeradores requer estudos amplos e multifatoriais, pois alcançar a melhor eficiência energética de acordo com as aplicações e cumprimento das normas técnicas, estabelece menores impactos ambientais, emissões de gases de efeito estufa, bem como maior segurança (BELMAN-FLORES *et al.*, 2015).

2.1 Refrigeradores Domésticos

Segundo Belman-Flores *et al.* (2015), existem duas maneiras de melhorar a eficiência energética em um sistema de refrigeração por compressão de vapor. A primeira é otimizando o projeto de componentes individuais sem comprometer a qualidade do serviço, ou seja, manter as temperaturas adequadas nos compartimentos do refrigerador e melhorar o funcionamento do refrigerador. A outra maneira é desenvolver e melhorar sistemas que levem em conta a variação

na demanda de refrigeração, pois o desperdício de energia é o principal fator que deve ser considerado quando se analisam refrigeradores. Porém, no mercado atual, isso não se reflete em disponibilidade, pois está implícito que os modelos devem aproximar o comportamento real do refrigerador, para melhorar o projeto e a operação do aparelho em questão.

Um refrigerador doméstico convencional possui dois subsistemas principais, o primeiro é o ambiente termicamente isolado, ou gabinete refrigerado, onde se busca manter a temperatura abaixo da temperatura do ambiente externo. O primeiro subsistema é um ciclo de refrigeração, com o objetivo de retirar o calor do ambiente interno em que a temperatura é controlada. O segundo subsistema possui quatro componentes básicos, sendo um compressor, um condensador, um dispositivo de expansão tipo tubo capilar e um evaporador. No interior do sistema circula um fluido volátil (refrigerante) que passa por mudanças de fase de líquido para vapor e vice-versa.

O consumo de energia de um refrigerador tem relação, principalmente, com os alimentos e objetos armazenados em seus compartimentos internos (carga térmica). Assim, sua eficiência depende dos ganhos de calor (sensível e latente). Desta forma, quanto maior o calor a ser removido, maior também será o trabalho do compressor, levando, por consequência, a maior consumo de energia.

2.1.1 Compressores

Os compressores são responsáveis pelo maior consumo de energia em um refrigerador. São de grande importância e interesse, pois determinam o funcionamento do ciclo de refrigeração, porém a condição de operação determina a carga térmica à qual os refrigeradores precisam responder.

Na primeira vez que é ligado, o refrigerador deve ser capaz de resfriar os compartimentos internos à temperatura desejada no menor tempo possível. Após estar em funcionamento, com o seu interior resfriado na temperatura desejada, o refrigerador deve responder aos aumentos súbitos de carga térmica.

O compressor fornece trabalho ao fluido refrigerante, porém o funcionamento não é contínuo. Refrigeradores são constituídos de termostatos e sensores eletrônicos que controlam seu ciclo, ligando e desligando em função da temperatura interna do aparelho.

No Brasil, a frequência da energia elétrica gerada é 60 Hz e os compressores funcionam com rotação próxima a 3600 rpm. A cada rotação do compressor, o pistão envia o refrigerante comprimido para os demais componentes do ciclo, ou seja, a capacidade do compressor é fixa

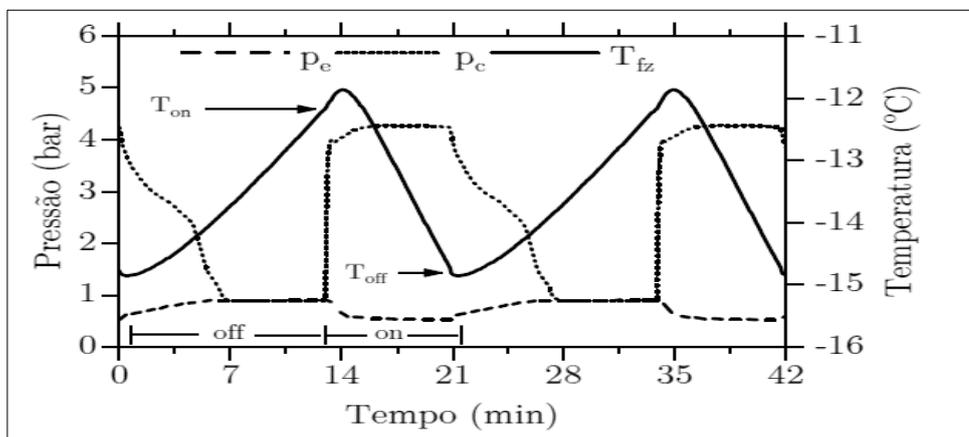
e isso faz com que o sistema seja projetado para suprir a carga térmica máxima que o refrigerador exige. O consumo de energia pode ser reduzido conhecendo o desempenho transitório do compressor, ou seja, a possibilidade de melhorar o desempenho do refrigerador.

Fluxos intermitentes no ciclo de refrigeração, dentro do processo de compressão, acionam o sistema liga e desliga, aumentando o seu consumo de energia. Há momentos em que o motor elétrico não aproveita totalmente a energia fornecida, conhecidos como tempos mortos, nos quais o uso da energia está sendo desperdiçado. Devido a tal fator, outras opções de compressão devem ser totalmente exploradas para simplificar o funcionamento do compressor, e até mesmo diminuir a complexidade da fabricação e processamento do conjunto de elementos mecânicos.

A operação do compressor pode ser controlada de diversas maneiras. A mais comum e com menor custo é a operação cíclica *on-off* do compressor, conhecida como transiente periódico. O controle de capacidade opera com o termostato ligando e desligando regularmente. Quando o compressor está ligado, a temperatura dos compartimentos decresce até que a temperatura solicitada seja atingida (T_{off}), neste momento o termostato desliga o compressor. Por outro lado, quando a temperatura dos compartimentos refrigerados aumenta (T_{on}), seja pela transferência de calor ou até mesmo pela abertura de portas, o compressor é ligado novamente e a temperatura volta a cair, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

A amplitude térmica ($T_{off}-T_{on}$), é conhecida como faixa de atuação do termostato. como o refrigerador opera através de ciclos, o consumo de energia necessário foi significativamente reduzido através do isolamento de gabinete, evolução de métodos de degelo, otimização da carga de refrigerante e aprimoramento de compressores.

Figura 1 – Pressões no evaporador (p_e), no condensador (p_c) e temperatura do freezer (T_{fz}) durante dois ciclos *on-off* de um refrigerador doméstico operando com isobutano



Fonte: Diniz (2018).

As condições transientes que se originam da operação cíclica, são muito dependentes de aspectos como geometria dos componentes do sistema, carga de refrigerante, condição de operação e interação com o ambiente onde está em funcionamento. Assim, diante dessas dificuldades, os fabricantes geralmente projetam seus itens considerando condições estáveis, que seguem os procedimentos definidos em normas, e com ensaios em calorímetros que comprovem e certifiquem o sistema.

2.1.2 Condensador

O condensador é o responsável por dissipar para o meio ambiente o calor absorvido pelo refrigerante, por isso o seu design pode modificar o desempenho do sistema global. Assim, um dos desafios para os fabricantes é a redução dos custos de fabricação, buscando melhorar a eficiência energética, reduzindo o espaço e o material, de acordo com a capacidade do refrigerador (BELMAN-FLORES *et al.*, 2015).

Em pesquisa realizada por Bassiouny (2009), onde analisou o efeito do espaço disponível ao redor do condensador, baseado na capacidade de dissipar calor, a conclusão do estudo foi de que um espaço maior de 200 mm entre o condensador e a parede posterior (de uma cozinha, por exemplo), é suficiente para aumentar a transferência de calor, melhorando, por consequência o desempenho do refrigerador.

Conforme Bansal e Chin (2003), os resultados experimentais para a otimização do condensador mostraram que melhorias no design foram capazes de proporcionar um ganho de 3% na capacidade térmica e redução do peso do trocador em 6%. Atrelado a isso, Prokhal, Khastoo e Modarres Razavi (2006), comprovam que o consumo de energia pode ser reduzido se utilizar um compressor controlável, onde seja possível acionar o compressor no momento determinado.

2.1.3 Tubo Capilar

A função do dispositivo de expansão é reduzir a pressão do refrigerante e, como consequência, sua temperatura, antes de fornecê-lo para o evaporador. Assim, em conjunto com o compressor estabelece dois níveis de pressão no ciclo de refrigeração, e com a vazão mássica do sistema.

Na entrada do tubo capilar, em condições de regime permanente, o refrigerante se encontra no estado líquido sub-resfriado, líquido saturado ou de mistura de baixo título. Na

saída, o dispositivo de expansão fornece uma mistura bifásica a baixa pressão, que alimenta o evaporador e garante o ciclo de refrigeração.

Conforme Pisano *et al.* (2015), a combinação da carga do refrigerante com o diâmetro do tubo capilar, influenciam nas condições externas no comportamento do sistema, mostrando que o desempenho pode ser melhorado, modificando-se a carga do refrigerante, possibilitando, assim, selecionar o melhor ponto de operação do sistema, ou seja, não apenas a eficiência ou o consumo de energia, mas as restrições técnicas, como a temperatura da linha de sucção, o superaquecimento na saída do evaporador e o período de execução do compressor.

2.1.4 Evaporador

É um trocador de calor instalado no interior do local refrigerado. Sua principal função é retirar o calor do ambiente de menores temperaturas, utilizando-se da vaporização do refrigerante, que escoar no seu interior.

A capacidade do sistema é definida pela pressão no evaporador, determinada principalmente pela carga do fluido refrigerante, pelo conjunto do compressor e do dispositivo de expansão. Se por um lado o compressor retira massa do evaporador, por outro, o dispositivo de expansão realimenta-o, permitindo a manutenção do nível de pressão desejado. Atualmente, os evaporadores de tubo aletado são os mais utilizados.

2.2 Sistemas de refrigeração solar fotovoltaica

A energia renovável se espalhou no mercado global. Os investimentos crescem a cada ano e, segundo a Agência Internacional de Energia (2018), a geração de energia através de fontes renováveis aumentará dos atuais 25 %, para cerca de 40 % nos próximos 20 anos.

O desafio da redução no consumo de energia em sistemas de refrigeração doméstico deve considerar a eficiência dos componentes, a variação na demanda de refrigeração e o desperdício de energia. Pesquisas atuais estão cada vez mais focadas em fontes de energia renováveis, pois os impactos negativos dos combustíveis fósseis são visíveis. Além disso, sabe-se que tais fontes são de disponibilidade limitada e não renovável. A tecnologia fotovoltaica está cada vez mais sendo adaptada para os desafios de captar energia solar em diversos locais do planeta. O aprimoramento de materiais e o aumento da eficiência das células, são fatores que melhoram o seu desempenho.

Uma célula PV é basicamente um dispositivo semicondutor, que converte a energia solar, em energia elétrica. A saída de uma célula fotovoltaica é de corrente contínua (CC), no entanto, a maioria dos eletrodomésticos utiliza corrente alternada (CA). Por isso, um sistema completo de resfriamento fotovoltaico consiste em quatro componentes básicos, sendo os módulos fotovoltaicos, o banco de baterias, o circuito inversor e uma unidade de compressão a vapor. Tais componentes são descritos a seguir:

- 1) **Módulos fotovoltaicos:** produzem eletricidade, convertendo a radiação solar em energia elétrica de corrente contínua (CC);
- 2) **Bateria:** é usada para armazenar energia em um modo de carga, quando a radiação solar está disponível, e fornecendo energia elétrica de corrente contínua em modo de descarga, na ausência de radiação. Um regulador de carga da bateria pode ser usado para controlar a tensão de entrada, evitando sobrecargas ou descargas excessivas da bateria;
- 3) **Inversor:** é um circuito elétrico que converte a energia elétrica CC em CA e, em seguida, fornece a energia elétrica para as cargas;
- 4) **Unidade de CA:** a unidade de CA de compressão de vapor é um sistema convencional de resfriamento ou refrigeração.

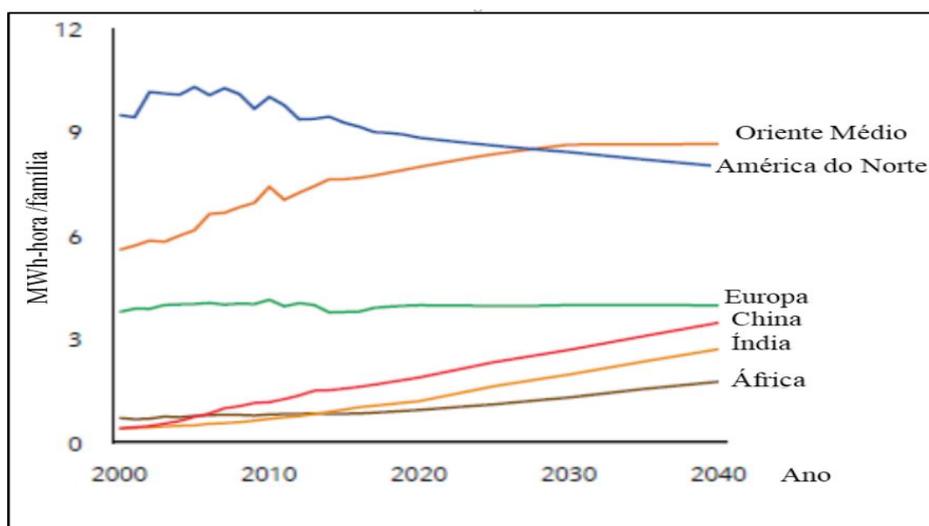
De acordo com Gupta, Bhatnagar e Mathur (2014), um estudo paramétrico encontrou a melhor combinação de componentes e dimensionamento, para que o sistema de refrigeração possa funcionar corretamente. A combinação de potência do painel fotovoltaico, capacidade da bateria e o isolamento foram detalhados e sob condições climáticas adversas. Para tal, utilizou-se um sistema de refrigeração com um refrigerador de 50 L. Concluiu-se que as baterias devem ter capacidade superior a 50 Ah e de 24 V, para se obter um *backup* de 1 ou 2 dias sem Sol. O sistema fotovoltaico deve ter no mínimo 320 W de potência nominal visando manter o estado de carga suficiente para o período noturno e, quanto maior for a capacidade de armazenamento, mais autonomia o sistema irá proporcionar.

Alguns componentes do refrigerador, quando melhorados, diminuem o consumo de energia, tornando o refrigerador mais competitivo e eficiente. Uma otimização de componentes conseguiu reduzir o consumo da geladeira em 23,6 % (GHADIRI e RASTI, 2014).

Segundo o relatório do Fórum Econômico Mundial (2015), em 2016 as energias renováveis (solar e eólica) tinham um custo de geração reduzido, se comparadas às fontes oriundas de combustíveis fósseis. No caso do carvão, o custo nivelado remete-se a

U\$100/MWh, enquanto o preço da energia solar reduziu de U\$ 600 a uma década, para valores abaixo de U\$ 100/MWh atualmente. A redução dos preços, cada vez maior e intensa, sobre os sistemas fotovoltaicos, faz com que o impacto da tecnologia seja maior, mais aceitável e viável, tornando assim, a refrigeração solar fotovoltaica a melhor escolha (SAHU, 2015). Segundo o relatório de perspectivas mundiais de energia, a demanda por eletricidade doméstica em países não desenvolvidos tende a aumentar, conforme se verifica na Figura 2.

Figura 2 – Demanda por eletricidade doméstica em países não membros da OCDE.



Fonte: adaptado de WORLD ENERGY OUTLOOK (2018).

2.2.1 Sistemas de armazenamento de energia

Os sistemas isolados utilizam um sistema de armazenamento estacionário, o qual pode ser utilizado durante o dia e principalmente à noite. Para o conjunto gerar energia, é necessário um controlador de carga, baterias e módulos fotovoltaicos (MOREIRA, 2017).

As baterias são muito importantes para o sistema, pois armazenam a energia e suprem a carga em horários de picos ou de falta de energia primária. Desta forma, o modelo mais adequado para o sistema *off-grid* são as baterias de níquel-cadmio, pois elas têm melhor desempenho. Apresentam alto valor de compra, contudo estão presentes em sistemas híbridos. Também muito utilizadas, as baterias de chumbo-ácido, seladas ou abertas, cuja unidade de medida da capacidade de armazenamento é o Ah (Ampère Hora).

Uma característica muito importante da bateria é o ciclo de vida, que depende da forma de utilização (descarregada e recarregada). Por isso, as baterias estacionárias são mais indicadas para o sistema *off-grid*, já que são projetadas para receber descargas profundas, sendo também mais econômicas e com vida útil de aproximadamente 4 a 5 anos (NEOSOLAR, 2019).

2.2.2 Inversor Off-Grid

O inversor *off-grid* é um dispositivo eletrônico que tem o circuito estático, que converte a corrente contínua CC em corrente alternada CA, com a frequência adequada, controlando a potência consumida pela carga através da variação de frequência. Os inversores de tensão convertem a energia, podendo variar as frequências produzidas a partir das baterias em corrente contínua, de modo que não sofram perdas e potencial (BRUM, 2013). A frequência fornecida determina a velocidade síncrona do campo elétrico pelo qual o motor trabalha, caso a frequência seja maior, conseqüentemente a velocidade do motor será maior, e caso a frequência seja menor a velocidade também é menor, o uso de um inversor de frequência traz a possibilidade explorar o funcionamento do motor e condições não descritas nas suas características construtivas.

Inversores de onda quadrada, por serem mais comuns, podem ser utilizados em aparelhos específicos ao sistema. Já os de onda modificada são utilizados para ligar qualquer aparelho que não utilizem timer ou controle de velocidade.

2.2.3 Controlador de Carga

O controlador de carga é um dispositivo que tem a finalidade de controlar o estado de carga das baterias. Possui um algoritmo que controla a tensão de saída, de acordo com a fase de carregamento da bateria, protegendo-a de possíveis descargas (por excesso de uso). Este controlador impede a sobrecarga e aquecimento. Outra função é cortar ou desviar a carga em descargas profundas, aumentando assim a vida útil das baterias (NEOSOLAR, 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, um refrigerador Panasonic BT54PV1W do tipo duplex com compressor *inverter* será analisado experimentalmente.

Ainda constituído por um banco de quatro baterias de chumbo-ácido, modelo Pioneiro F105E, de 12 V e 105 Ah, para garantir o fornecimento de energia, mesmo em dias com pouca radiação. As baterias são conectadas em série e paralelo, mantendo assim uma configuração de armazenamento de 24 V e 210 Ah. Um inversor modelo Pure Sine Wave SP05, com 1000 W de potência nominal, que converte a tensão contínua fornecida pelos módulos fotovoltaicos, em tensão alternada e um controlador de carga modelo MPPT Tracer 3215RN. O sistema fotovoltaico está localizado no Laboratório de Energias Renováveis da Universidade do Vale

do Rio dos Sinos (Unisinos), composto de oito módulos fotovoltaicos de silício cristalino, marca Siemens SP75 especificado na Tabela 1, cada módulo é composto de 36 células, que pode gerar uma potência 75 W cada, instalados com um ângulo de inclinação de 30° em relação à horizontal e apontados para o norte verdadeiro.

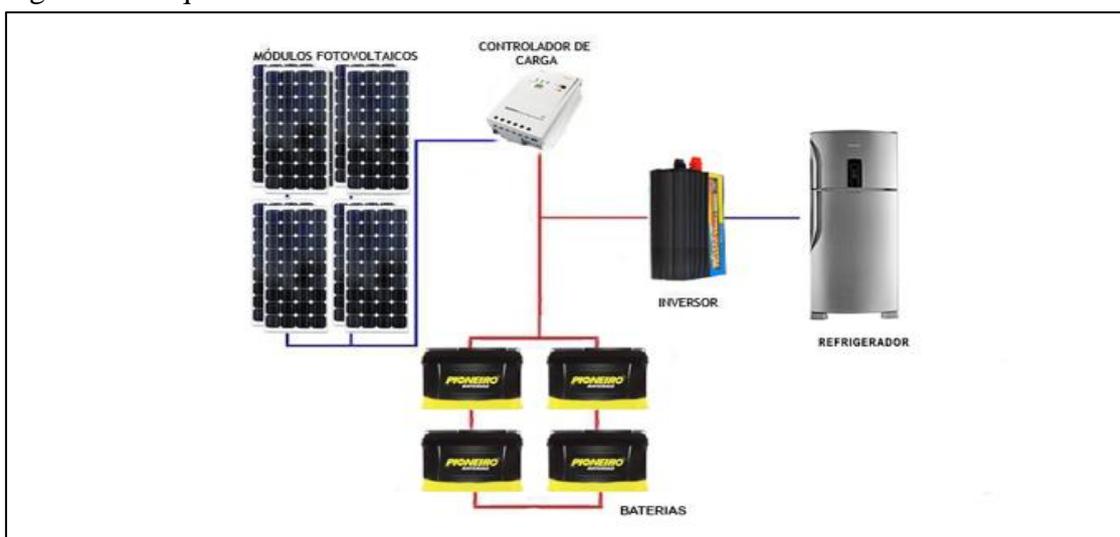
Tabela 1 – Especificações do módulo fotovoltaico.

ESPECIFICAÇÕES	
Potência máxima (W)	75
Tensão máxima do sistema (V)	600
Corrente máxima (A)	4,4
Tensão de circuito aberto (V)	21,7
Corrente de curto-circuito (A)	4,8
Tecnologia celular	Silício cristalino

Fonte: SIEMENS.

Na configuração que o sistema se encontra, são quatro conjuntos ligados em paralelo de 2 módulos que estão ligados em série, gerando uma potência de 600 W, o sistema pode gerar uma corrente total de até 17,6 A e uma tensão de até 40V. Considerando a condição padrão de teste para o módulo, o inversor senoidal converte a corrente contínua em corrente alternada. Sua entrada é conectada ao banco de baterias e ao controlador de carga que, junto com o painel fotovoltaico, formam a rede isolada. Sendo assim, o esquema básico dessa bancada é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema da bancada.



Fonte: Heydrich (2018).

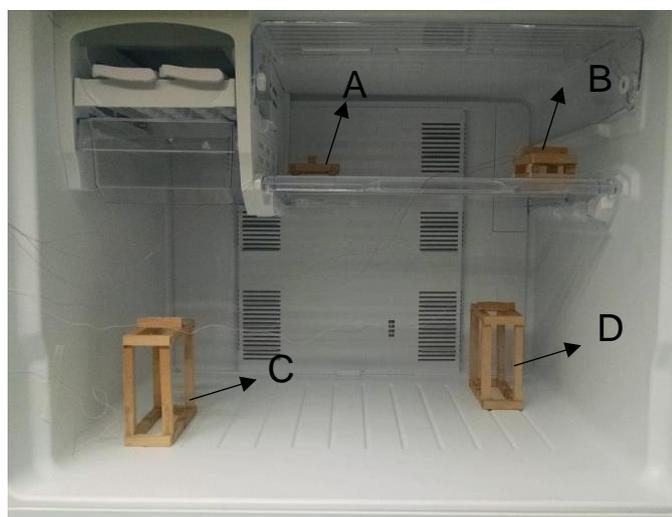
A temperatura do ar da sala de testes, onde o refrigerador em análise se encontra, é mantida em 23 °C, por meio de um aparelho de ar condicionado. São determinados os métodos para realização dos testes de desempenho dos refrigeradores, assim como são definidas as características de cada um de seus compartimentos internos, através da metodologia de ensaio em refrigeradores e demais dispositivos de refrigeração, pelas das normas IEC 62552-2 e ISSO 8561.

Através da metodologia de ensaio, foram colocados em cada compartimento do refrigerador, sete termopares, que passaram por uma montagem e instrumentação necessária para o funcionamento correto do sistema. Assim, a Figura 4 mostra onde está localizado os equipamentos para a obtenção de dados referentes às temperaturas internas do refrigerador, das cargas e sala de testes de acordo com o exigido pelas normas técnicas. Para medição das temperaturas internas do refrigerador, foram utilizados termopares do Tipo E e Tipo J, com erros de $\pm 0,5\%$ e $\pm 0,75\%$, respectivamente. Os sensores montados na sala e no refrigerador passaram por uma calibração, onde os dispositivos responsáveis pela medição de temperatura recebem a calibração em um banho termostático por meio de um termômetro de referência com resolução de 0,1 °C. Para o método de comparação onde, é necessária a utilização de um termômetro de resistência padrão com certificado de aferição, garantindo uma maior confiabilidade nos dados de temperatura coletados através dos mesmos. Através da análise das curvas dos sensores e obtenção de seus desvios padrões, foi verificada que a incerteza na medição de temperatura é de $\pm 0,8$ °C. Na figura 4 é ilustrado o posicionamento e o compartimento do refrigerador.

Figura 4 – Posicionamento dos sensores de temperatura (a) no compartimento refrigerador e (b) no compartimento congelador.



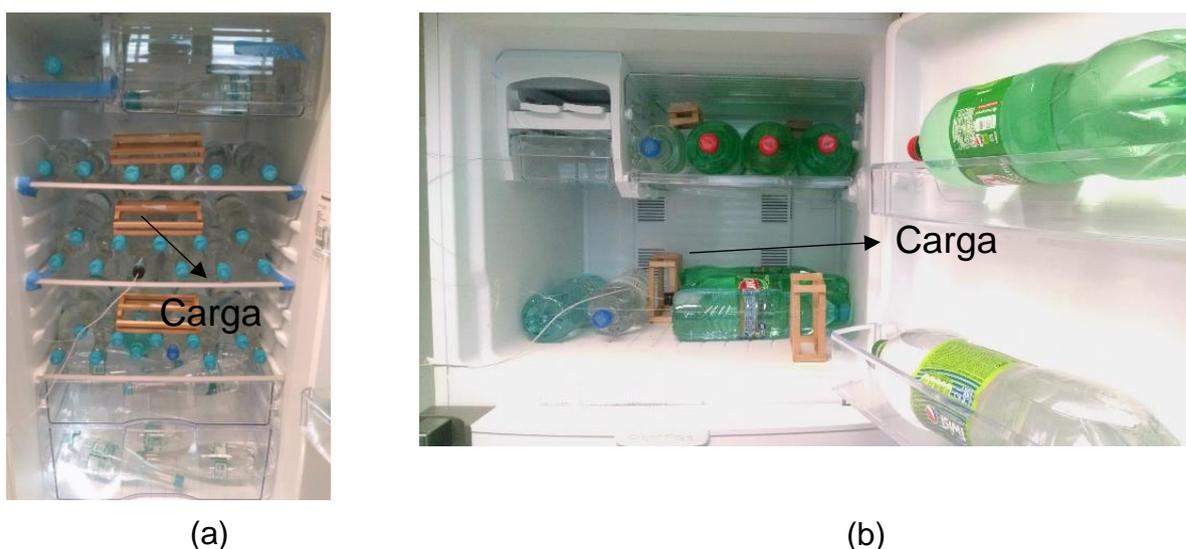
(a)



(b)

As cargas foram inseridas no interior do refrigerador, dispostas de forma a preencher todos as prateleiras de cada um dos seus compartimentos. No compartimento refrigerador foram 49,25 L de cargas preenchidas com água. No compartimento congelador foram utilizados 20 L de cargas compostas pelo fluido anticongelante propilenoglicol, misturado com água em uma concentração de 46% em massa, permitindo que as cargas sejam submetidas a temperaturas de até $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sem ocorrência de troca de fase. Estes fluidos foram armazenados em garrafas de polietileno tereftalato (PET), com volume unitário de 1,75 a 2 L cada, conforme apresentados na Figura 5.

Figura 5 – Posicionamento das cargas nos compartimentos do refrigerador (a) no compartimento refrigerador e (b) no compartimento congelador.



Para a medição das temperaturas internas das cargas situadas no interior dos refrigeradores, foram instalados termistores do tipo PT100 com incertezas de $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, em cargas espalhadas por toda a parte interna dos compartimentos do congelador e refrigerador.

A aquisição dos dados de temperatura obtidos através dos termopares e termistores foi realizada a cada 4 segundos, através de um sistema de aquisição de dados, modelo Agilent 34970A, controlado por um computador através de uma interface RS-232. Para as medições dos parâmetros elétricos do sistema foi utilizado um analisador de potência e qualidade de energia, Yokogawa WT310E. As precisões dos equipamentos são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Precisões, por grandeza, dos equipamentos Agilent 34970A, Yokogawa W310E.

Equipamento	Grandeza	Exatidões
Agilent 34970A - Aquisição de dados	Tensão em C.C.	0,004%
	Tensão e corrente	$\pm(0,1\% \text{ da leitura} + 0,2\% \text{ da variação})$
Analizador de Potência - Yokogawa WT310E	Frequência e fator de potência	$\pm(0,1\% \text{ da leitura} + 0,2\% \text{ da variação})$
	Potência ativa, reativa e aparente	$\pm(0,1\% \text{ da leitura} + 0,2\% \text{ da variação})$
	Distorção harmônica total (THD)	$\pm(0,1\% \text{ da leitura} + 0,2\% \text{ da variação})$

Fonte: Adaptado de Agilent (2005), Yokogawa (2017)

3.1 Métodos de Análise

3.1.1 Análise de Consumo Energético

O consumo do refrigerador, calculado através das potências em relação ao tempo determina a quantidade de energia que o refrigerador necessita para refrigerar a carga térmica, analisando a melhor utilização dos equipamentos, ou seja, uma performance igual ou superior aos equipamentos atuais é possível tornar o sistema mais eficiente. Tratando-se de um sistema *offgrid*, a quantidade de energia que pode ser economizada, representa mais autonomia para o sistema, ou seja, as baterias têm sua vida útil prolongada e mantem o seu ciclo de carga e descarrega, isso impacta positivamente no sistema fotovoltaico, prolongando o seu funcionamento.

Foram feitas simulações de uso do refrigerador, com abertura e fechamento de porta, a cada período de tempo, o período que se manteve a porta aberta foi de 3 segundos, foram considerados tipos de uso do refrigerador, básico, moderado e intensivo, conforme consta na Tabela 4, determinando-se o tempo de funcionamento do compressor e o consumo médio e diário de energia. O objetivo desse teste é analisar o efeito da carga térmica de infiltração de ar no desempenho do refrigerador.

Tabela 4 – Intervalos de abertura e fechamento de porta.

Tipo de Uso	Intervalo
Básico	A cada 30 min
Moderado	A cada 15 min
Intensivo	A cada 5 min

3.1.2 Testes de aquecimento

A análise de aquecimento determina, basicamente, a eficiência do isolamento térmico do refrigerador, o teste funciona através da interrupção de energia elétrica ao refrigerador assim que ele atinge uma temperatura estacionária interna, ou seja não tenha mais variações internas de temperatura, assim que é desligado o refrigerador deixa de funcionar e a carga começa a ter um aumento de temperatura, o teste analisa quanto tempo foi necessário para a carga atingir a temperatura ambiente, caso ocorra uma eventual falta de fornecimento de energia elétrica por interrupção ou dias muito chuvosos, com baixa incidência de radiação solar sobre os módulos, o sistema fotovoltaico não tem condições de alimentar as baterias. Quanto mais baixa for a temperatura, mais reduzida será a ação química, enzimática e o crescimento microbiano.

Com este teste determina-se o tempo necessário para que a temperatura do compartimento do refrigerador atinja o equilíbrio térmico com as temperaturas observadas na sala de teste.

3.1.3 Testes de desempenho e determinação do coeficiente de performance

A eficiência de sistemas de refrigeração pode ser avaliada se utiliza o coeficiente de performance (COP), apresentado na Equação 1:

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{ele}} \quad (1)$$

onde \dot{Q}_e é a capacidade de refrigeração e \dot{W}_{ele} é a potência do compressor.

É necessário definir o calor retirado (Q_E) pelo refrigerador, e o trabalho realizado durante o período de análise (W). Devido a utilização do refrigerador tipo duplex na realização

dos testes de desempenho, torna-se necessário determinar o calor retirado em cada compartimento do refrigerador. Define-se o calor retirado no compartimento refrigerador (Q_r) e o calor retirado no compartimento congelador, Q_c . Para determinação de Q_r e Q_c , foram utilizadas as Equação 2 e 3:

$$Q_c = m_{pg} C_{p_{pg}} \Delta T_c \quad (2)$$

$$Q_r = m_{\acute{a}gua} C_{p_{\acute{a}gua}} \Delta T_r \quad (3)$$

onde ΔT_c e ΔT_r representam as variações de temperatura observadas nas cargas dos compartimentos congeladores e refrigeradores, respectivamente; C_p é o calor específico do propilenoglicol e da água na temperatura média e $m_{\acute{a}gua}$ e m_{pg} são as massas de água e de propilenoglicol contidas nas garrafas no interior do refrigerador.

Para a escolha do tempo a ser considerado para determinação do COP, foram analisadas as curvas de resfriamento geradas. Como o controle de operação do compressor é feito pela condição de operação do evaporador, que está situado no compartimento congelador, somente esse compartimento foi considerado para a determinação do tempo. O início da análise se dá quando o refrigerador é acionado e termina quando é atingido o equilíbrio térmico entre as cargas e as temperaturas internas do compartimento.

No compartimento congelador foram utilizados 20 L de uma carga composta por uma mistura na concentração de 46%, em massa, de propileno glicol e 54% de água. Como o percentual do volume de propileno glicol que compõe a carga é diferente, é necessário corrigir a concentração de massa específica que temos na mistura.

Para obtenção do calor específico da carga do congelador ($C_{p_{pg}}$), utilizou-se o calor específico da mistura de propileno glicol com água, através da utilização valores fornecidos pelo fabricante para as temperaturas medias obtidas durante os testes e a concentração de propileno glicol utilizado, por volume, apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Calor específico do propileno glicol para (a) 40% de propileno glicol por volume e (b) 50% de propileno glicol por volume.

40% de propileno glicol por volume	
Temperatura (°C)	Calor específico (kJ/kgK)
-20	3,569
10	3,668
40	3,768
65	3,850

(a)

50% de propileno glicol por volume	
Temperatura (°C)	Calor específico (kJ/kgK)
-30	3,339
-20	3,378
10	3,493
40	3,609

(b)

Fonte: Adaptado de Dow (2019).

A determinação dos calores específicos das cargas com água, inseridas nos compartimentos refrigeradores ($Cp_{\text{água}}$) foi feita utilizando-se propriedades termofísicas disponíveis no software *Engineering Equation Solver* (EES), através da utilização das temperaturas médias observadas durante os períodos em análise.

Com os valores de Q_r e Q_c calculados, é possível obter o calor retirado pelo sistema (Q_E) durante o período de testes, como mostrado na Equação 4.

$$Q_E = Q_c + Q_r \quad (4)$$

O trabalho de compressão foi obtido através dos dados de potência instantânea, medidos com auxílio do analisador de potência e qualidade de energia Yokogawa WT310E com o auxílio do software Matlab. Para determinação do trabalho entregue aos compressores foi utilizado o método de integração trapezoidal, apresentado na Equação 5, onde a integral de um intervalo é aproximada por meio da divisão da área da curva em trapézios.

$$\int_{x_n}^{x_{n+1}} f(x) dx = \frac{\Delta x}{2} [f(x_{n+1}) + f(x_n)] \quad (5)$$

Onde Δx representa o intervalo de tempo entre x_n e x_{n+1} , isso é, duas medidas consecutivas de potência.

3.1.4 Análise de Potência

O Fator de Potência (FP), de um sistema elétrico qualquer, que está operando em corrente alternada (CA), é definido pela relação de potência real ou potência ativa (P) expressa em (W), que é a capacidade do circuito produzir trabalho, pela potência total ou potência aparente (S) expressa em (VA) que é o produto da tensão pela corrente do circuito. O FP indica a eficiência com a qual a energia está sendo usada. Em circuitos puramente resistivos, as ondas

de tensão e de corrente elétrica estão em fase, isso significa que mudam sua polaridade no mesmo instante em cada ciclo. Quando capacitores, condensadores ou indutores estão presentes, o armazenamento de energia nessas cargas resulta em uma diferença de fase entre as ondas de tensão e corrente, conhecida como potência reativa (Q), que representa a potência que oscila entre a fonte de energia e os elementos reativos do circuito, expressa em (var), que não produz trabalho útil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os testes realizados no sistema fotovoltaico autônomo, observou-se que a capacidade de armazenamento elétrico que a bateria é capaz de proporcionar não condizia mais com as especificadas pelo fabricante, ou seja, a vida útil das baterias estava comprometida, e durante as primeiras análises, verificou-se que as baterias mantinham a carga por menos de 13 horas contínuas de conexão, isso porque estão com mais de 4 anos de uso e sua capacidade está abaixo dos níveis de utilização.

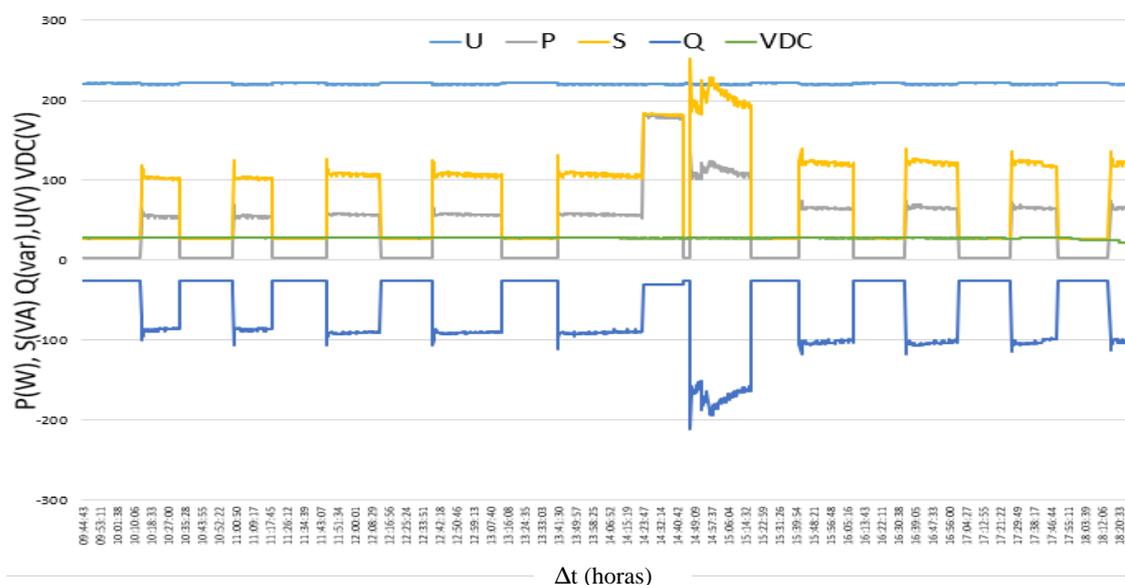
4.1 Consumo Energético

Analisando-se os dados de funcionamento do refrigerador, que opera com um compressor de velocidade variável, mais conhecido como compressor inverter, é possível observar variações frequentes na potência do compressor, devido a presença do inversor de frequência. Com o inversor é possível controlar a rotação do compressor e isso possibilita o maior controle de sua capacidade e, conseqüentemente, da potência requerida pelo equipamento.

Na Figura 6 é possível identificar um padrão de funcionamento, onde U (tensão fornecida pelo inversor), P (potência ativa), S (potência aparente), Q (potência reativa), VDC (tensão das baterias), mostrando que ocorrem picos de potência, o sistema aciona o compressor, atingindo valores acima de 100 W e isso ocorre em média a cada 26 minutos. O pico de potência ocorre a cada 780 minutos em média, ou seja, a cada 13 horas, isso se deve ao acionamento do controle de descongelamento do aparelho. Conforme a análise, o consumo de energia no período de aproximadamente 8:44 horas, foi de 357,14Wh com uma potência máxima 181,48 W e uma potência média de 40,86 W.

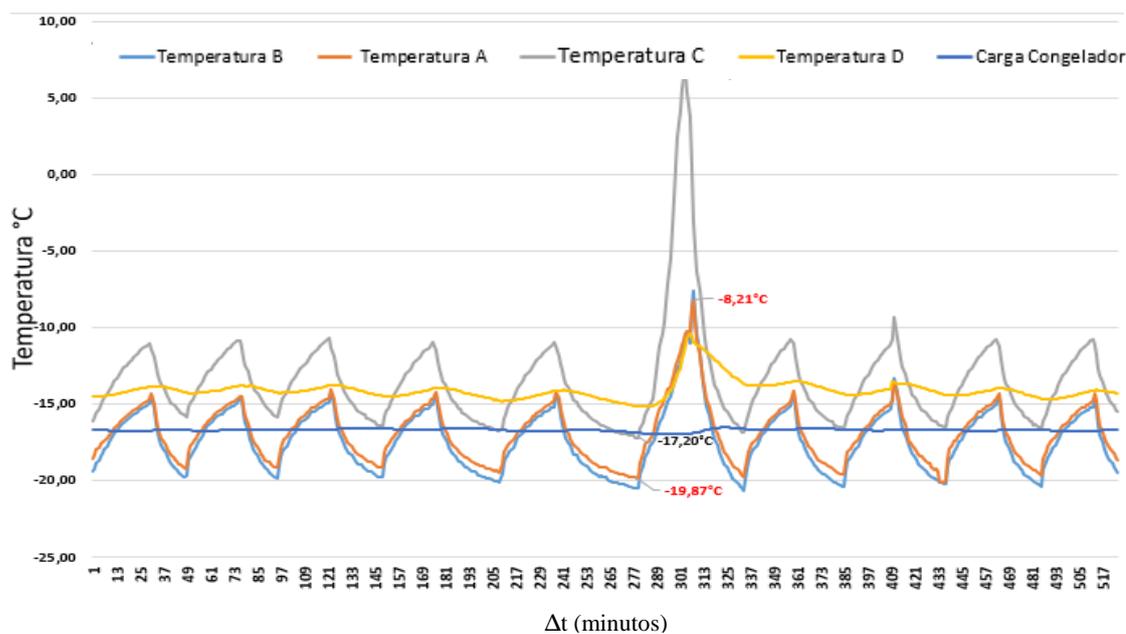
Importante observar que o comportamento da tensão das baterias é estável no período em que os módulos fotovoltaicos fornecem energia suficiente para a manutenção da carga.

Figura 6 – Comportamento dos parâmetros elétricos do sistema de refrigeração



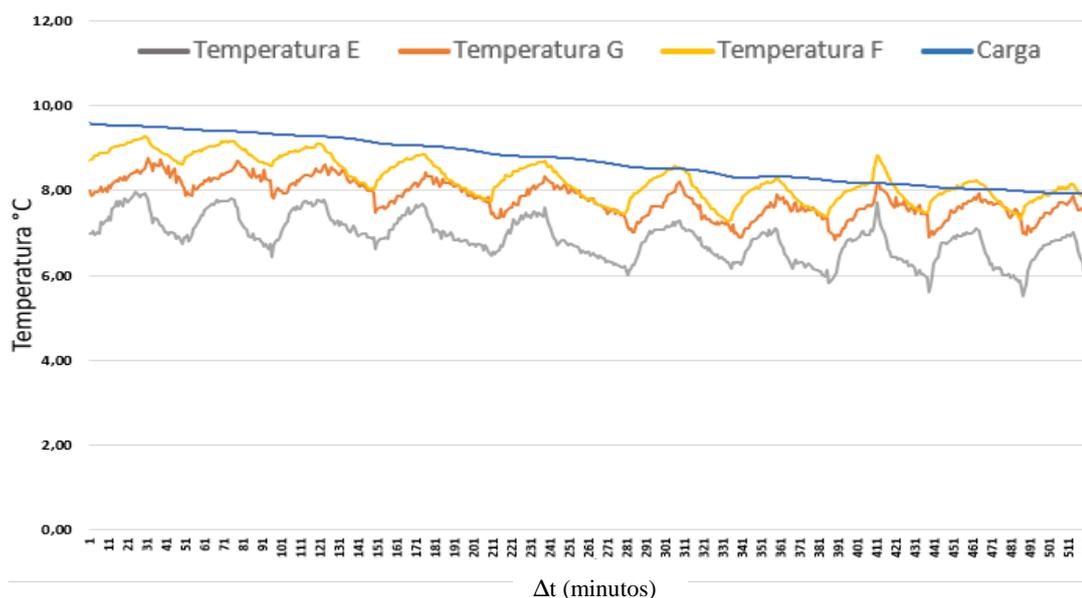
As variações de temperatura interna do congelador, mostradas na Figura 7 tiveram valores diferentes, conforme a localização do sensor de temperatura. A maior variação foi a do sensor localizado no compartimento inferior do congelador (C). Durante o funcionamento, as variações máximas de temperatura no congelador foram de 6 °C. Verificou-se que no instante de 280 min foi quando aconteceu as maiores variações de temperatura, com uma variação de quase 11 °C, decorrente do acionamento do sistema *Frost Free*.

Figura 7 – Comportamento das temperaturas do congelador.



No compartimento do refrigerador, as variações de temperatura são de, no máximo, 1,8 °C conforme pode ser verificado na Figura 8.

Figura 8 – Comportamento das temperaturas nos compartimentos do refrigerador.



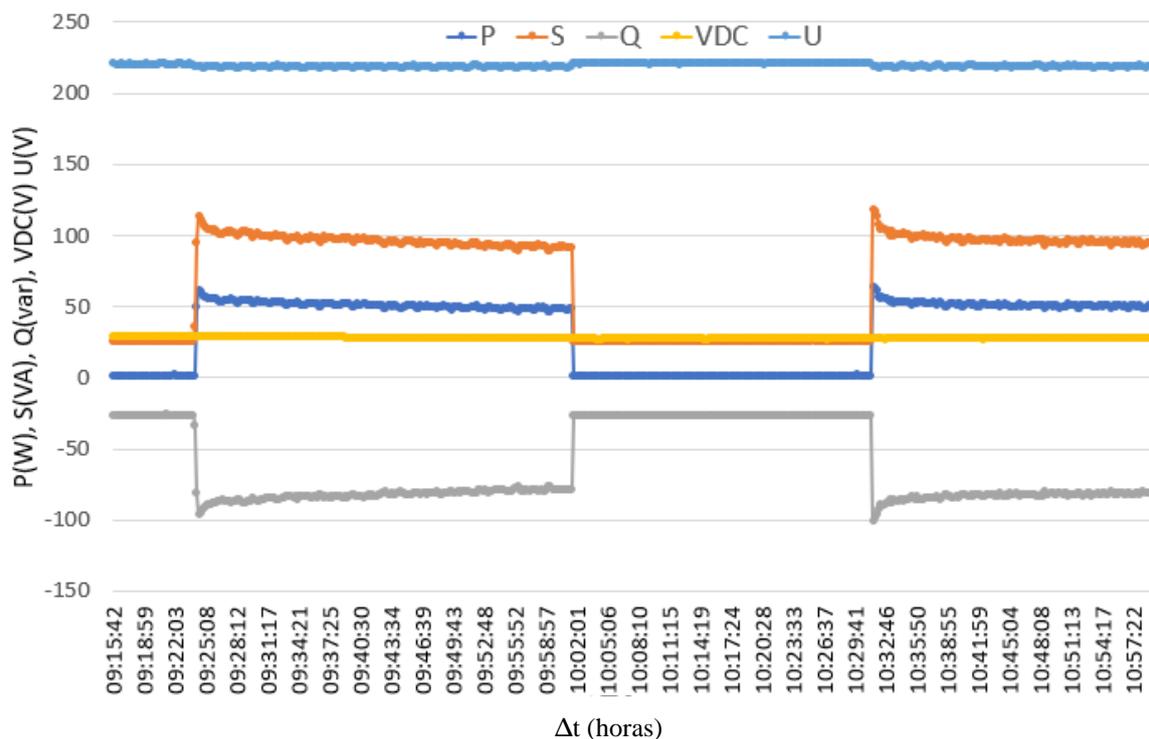
4.2 Ensaio de Utilização

Para analisar o efeito da carga térmica de infiltração do ar externo, devido às aberturas da porta durante um dia de operação, no desempenho térmico do refrigerador, foram realizados ensaios onde a frequência de abertura foi variada desde uma vez a cada 30 min até 5 min. Independentemente da frequência utilizada, o tempo de abertura das portas foi mantido em 5 s.

4.2.1 A cada 30 minutos

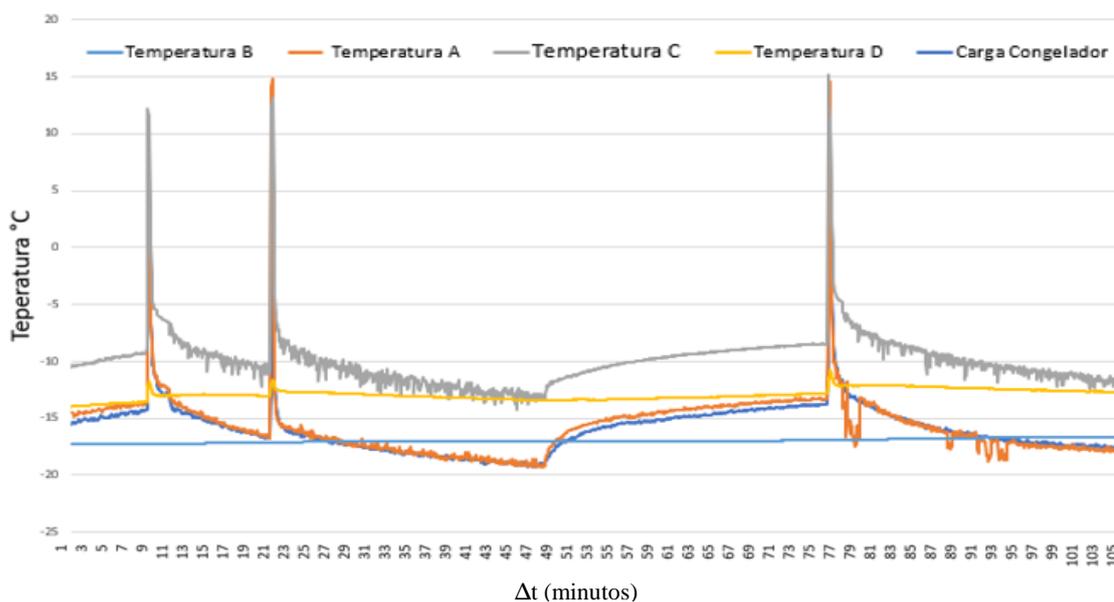
Na primeira análise, cujo o intervalo de abertura das portas do refrigerador foi de 30 min, foi realizada a coleta dos dados no período de 1:45 h. Observa-se na figura 9 que o consumo de energia no período de análise foi 57,97 Wh. A curva de comportamento das potências é mais acentuada, o período de acionamento do compressor foi, em média, a cada 14 minutos, o intervalo é menor se comparado ao comportamento onde não são feitas as simulações de abertura de porta, ou seja, o refrigerador está consumindo mais carga das baterias para manter a temperatura interna.

Figura 9 – Parâmetros elétricos do refrigerador com testes de 30 min.



Na figura 10 é possível verificar o comportamento interno do congelador, quando analisado o comportamento das temperaturas, observa-se que a variação entre as temperaturas passa a ser de até 11 °C em alguns momentos, principalmente quando ocorre a abertura das portas. A temperatura interna passa a ser positiva no compartimento do congelador, ou seja, a variação é mais brusca em um curto período de tempo.

Figura 10 – Comportamento da temperatura interna do congelador.

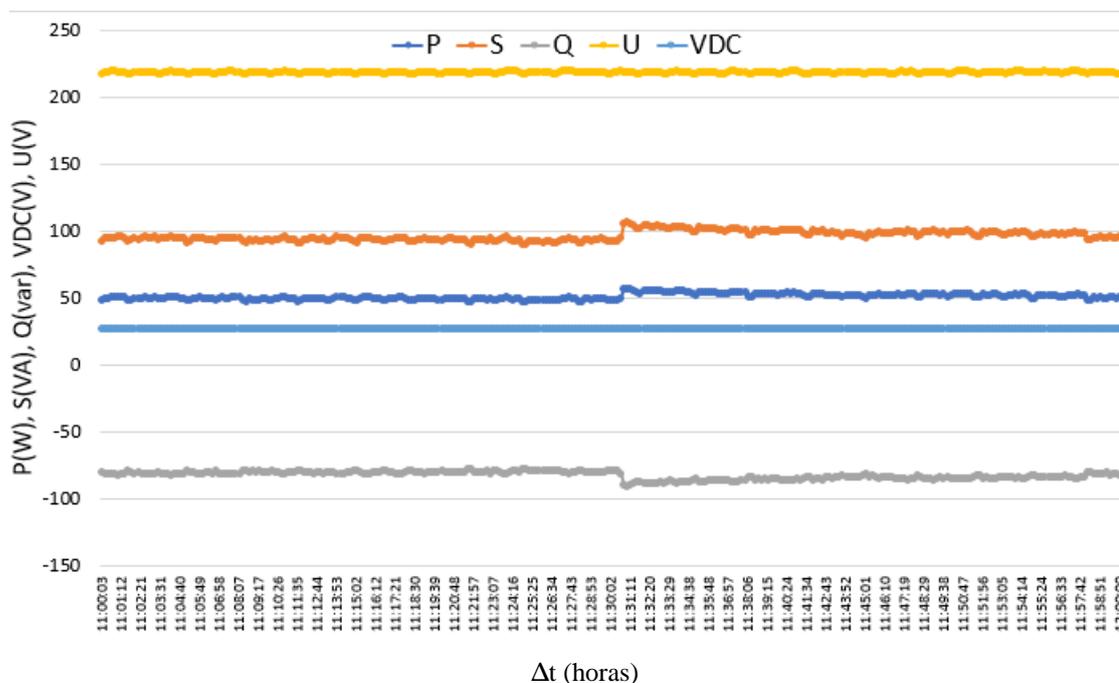


3.2.2 A cada 15 minutos

Verifica-se que as potências não mantêm o comportamento como foi verificado no exemplo anterior. Não existem mais expressivas variações, ou seja, o acionamento do inversor de frequência presente no circuito é contínuo, sem intervalos e com maior consumo de energia. Como não há tempo suficiente para as temperaturas internas se estabilizarem, o compressor está funcionando sem interrupções e a demanda de energia é maior. Consequentemente, exige mais carga da bateria.

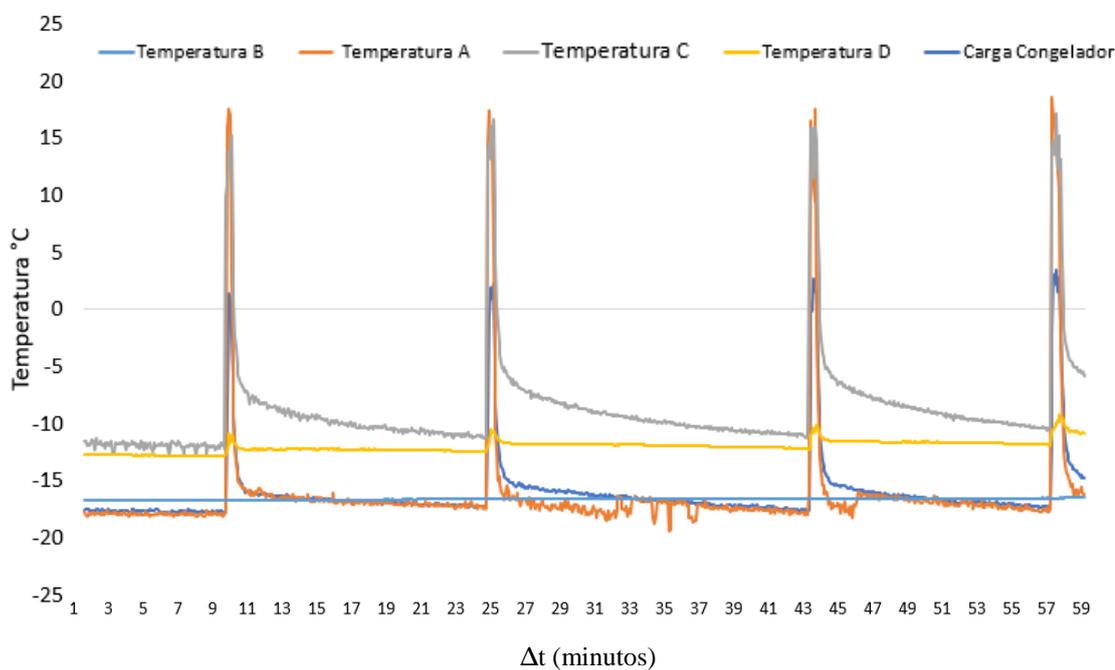
O consumo de energia foi de aproximadamente 61,47 Wh no período analisado. A curva de comportamento das potências é menos acentuada, conforme pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Comportamento dos parâmetros elétricos do refrigerador a cada 5 min.



Na Figura 12 é representado o comportamento das temperaturas internas do congelador, é possível verificar que exatamente no momento de abertura de porta ocorre variação na temperatura interna do compartimento, onde a cada período de abertura e fechamento de porta a temperatura interna atinge valores mais altos, pois não consegue manter a temperatura inicial do teste.

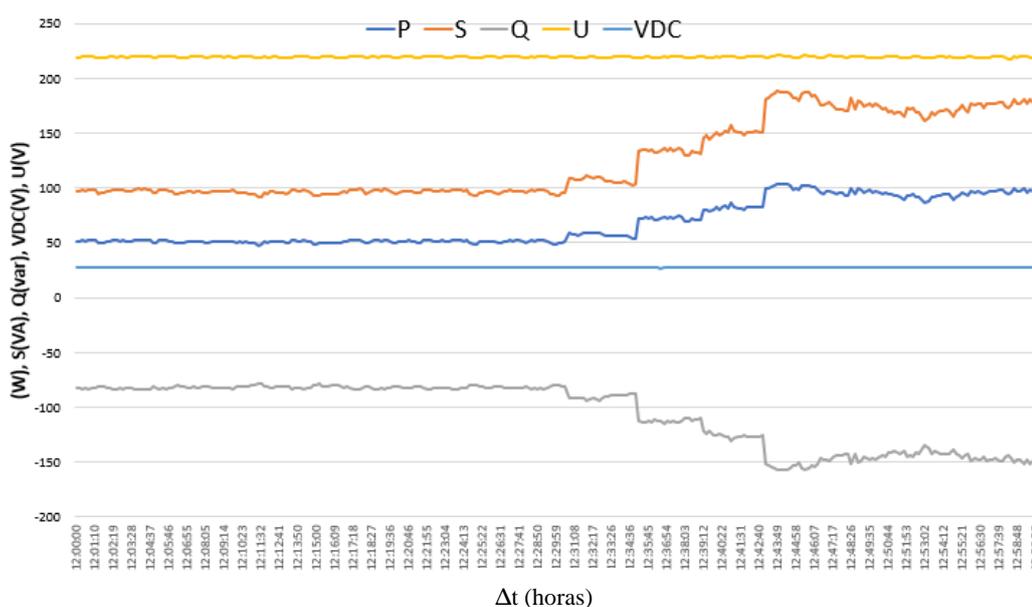
Figura 12 – Comportamento da temperatura interna do congelador.



3.2.3 A cada 5 minutos

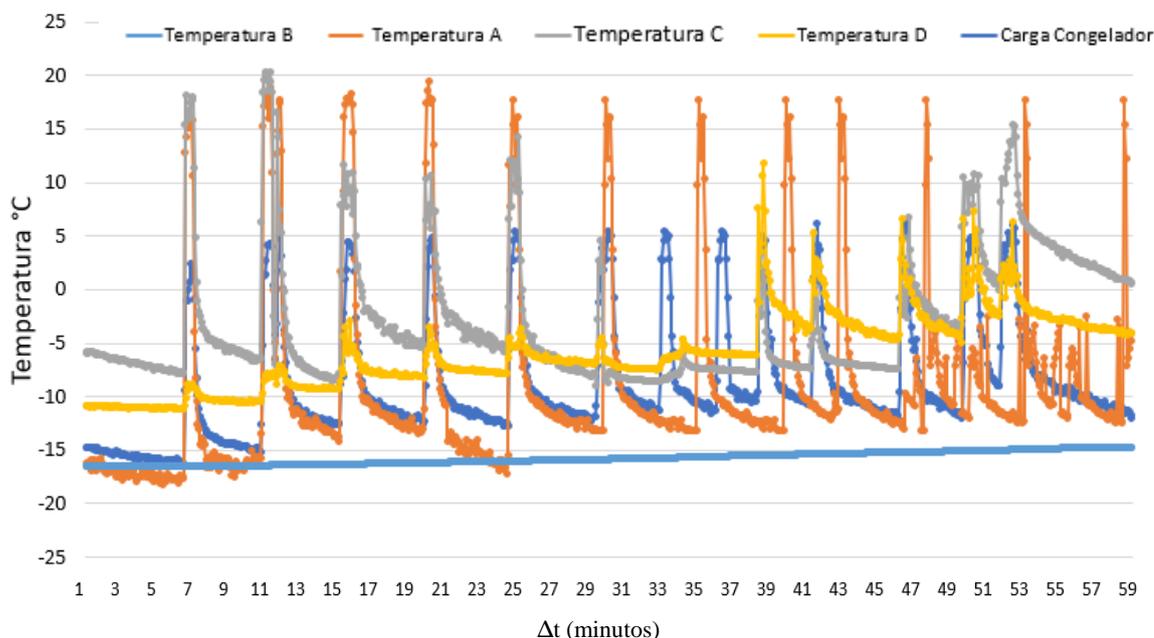
Analisando o comportamento do refrigerador com intervalos de 5 minutos, entre a abertura e fechamento de porta, a potência atinge o valor de 103,5 W e a exigência do inversor é maior. O consumo de energia verificado no período de análise foi de 68,16 Wh.

Figura 13 – Comportamento das potências com utilização de 5 minutos.



Na figura 14 é possível verificar que o congelador não consegue manter os mesmos valores verificados anteriormente, chegando a atingir picos de até 12° C em determinado momento.

Na Figura 14 – Comportamento da temperatura interna do Congelador.



O comportamento da temperatura interna do refrigerador sofre elevadas variações a medida que o tempo de análise aumenta. Isso se deve às entradas de ar no refrigerador e isso interfere na intensidade com que sistema necessita refrigerar os seus compartimentos. Verifica-se que a carga, presente no interior começa a sofrer variações de temperatura.

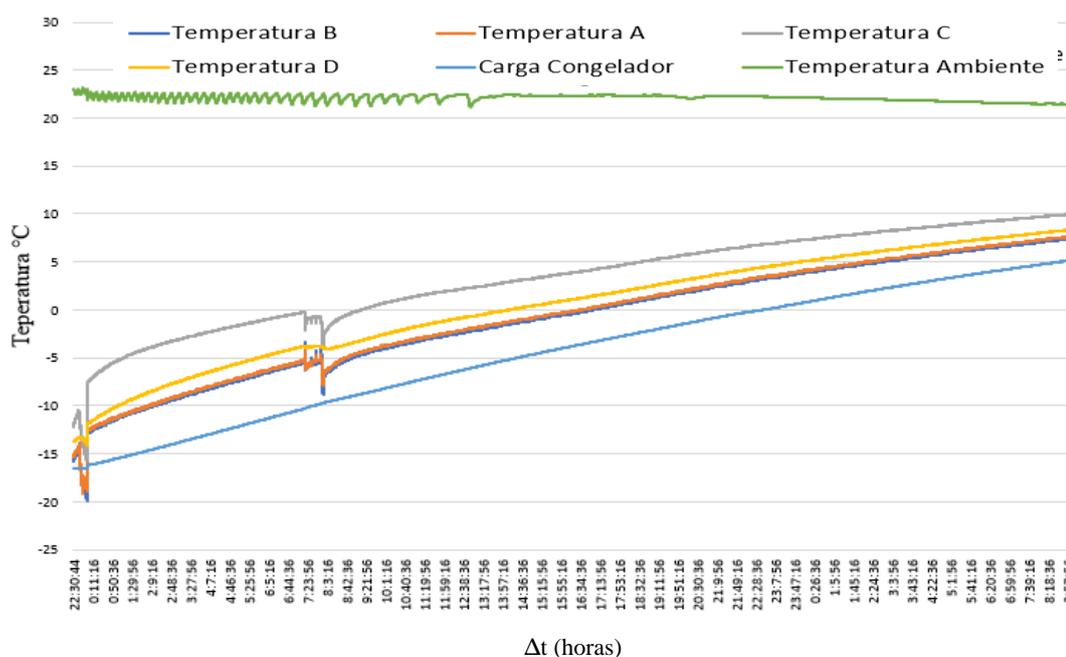
4.3 Interrupção de Fornecimento de Energia

4.3.1 Aumento da temperatura

Para realização deste teste, é necessário que o compartimento do refrigerador esteja operado nos parâmetros de temperatura definidos pelas normas ISO 8561 e IEC 62552-2, simulando um funcionamento padrão do dispositivo. Devido ao sistema de armazenamento de energia disponível no laboratório estar comprometido, ou seja, não ter capacidade suficiente para manter a geladeira funcionando até se chegar a uma temperatura de estabilização, o teste foi realizado com o auxílio da energia fornecida pela concessionária. Assim, após os valores chegarem a um parâmetro onde a temperatura estava estabilizada, foi realizado o desligamento do refrigerador.

Conforme a figura 15, o comportamento do isolamento térmico do refrigerador Panasonic é evidenciado através dos resultados do teste de aquecimento, avaliando o dispositivo durante aproximadamente 33 h após a interrupção do fornecimento de energia elétrica,

Figura 15 – Teste de aquecimento do compartimento congelador.



Os dados mostram que o refrigerador consegue manter a temperatura interna negativa por até 7 horas, ou seja, consegue manter a temperatura por um bom período de tempo. A temperatura interna aumenta gradativamente. O que se caracteriza como um bom comportamento, pois caso o sistema fotovoltaico não consiga fornecer energia por alguma interrupção a temperatura interna se mantém negativa por um período de tempo.

Durante o período analisado, houve um aumento de temperatura nos compartimentos na taxa de $1,27^{\circ}\text{C/h}$ e $0,13^{\circ}\text{C/h}$ nos compartimentos congelador e refrigerador, respectivamente.

4.4 Coeficiente de performance (COP)

A análise do desempenho do refrigerador é determinada através do tempo necessário para a obtenção do equilíbrio térmico entre as cargas e as temperaturas internas nos compartimentos do aparelho refrigerador. Diante da limitação de energia fornecida pelas baterias, sabendo que não eram suficientes, devido a interrupção do fornecimento de energia, ou seja, interrompendo o trabalho do compressor, foi calculado o COP através dos dados de fornecimento da energia elétrica da concessionária e através dos dados de variação de temperatura no refrigerador. Para o refrigerador atingir seu equilíbrio térmico foi necessário um

total de 850 min e seu COP foi de 0,91 quando conectado à rede fornecida pela concessionária. Sabe-se que o Coeficiente de Performance, quando observados nos dispositivos conectados ao sistema fotovoltaico, tende a ser menor, pois o sistema é dependente de irradiância, dimensionamento correto do banco de baterias e critérios de dimensionamento do módulo fotovoltaico.

5 CONCLUSÃO

O sistema fotovoltaico autônomo utilizado se mostrou com potência insuficiente para suprir os parâmetros necessários para a correta operação do refrigerador e a manutenção da tensão no banco de baterias durante todo período de análise. Isso por que o banco de baterias estava comprometido, ou seja, com sua vida útil deteriorada. Isso resultou em interrupções no funcionamento do compressor do refrigerador gerando aumento nas temperaturas dos compartimentos. Isso influenciou também os indicadores de operação do refrigerador. Os resultados de dimensionamento não foram estudados pois o sistema não permitia que o refrigerador chegasse a uma temperatura interna de estabilização.

O controlador de carga do sistema fotovoltaico se desligava e isso se deve ao algoritmo de proteção do sistema fotovoltaico autônomo, onde, ao detectar tensões abaixo de 22,5 V no banco de baterias interrompia o fornecimento de energia. O dimensionamento do sistema fotovoltaico autônomo exige um estudo criterioso que determine a potência instalada dos módulos fotovoltaicos e a capacidade do banco de baterias.

É possível afirmar que o consumo de energia (Wh), quando comparado aos 30 minutos de intervalo entre a abertura e o fechamento de porta, foi de 6,03 % maior em intervalos de 15 minutos e 17,57% maior em acionamentos de 5 minutos. A potência média observada em intervalos de 5 minutos foi de 67,77 Wh, enquanto que em intervalos de 30 minutos foi de 33,33 Wh, ou seja, praticamente a metade do valor. Isso tem impacto direto com o sistema de armazenamento de energia. Devido a capacidade de armazenamento das baterias não ser suficiente, recomenda-se que o uso contínuo e mais acentuado do refrigerador ocorra em intervalos com maior irradiação solar, onde o sistema possa ser capaz de suprir a carga e armazenar energia suficiente para manter-se ligado durante a noite.

Em locais onde a oferta de energia elétrica é limitada, a escolha de um equipamento que opera com maiores eficiências é altamente recomendável. Em outras palavras, a utilização de refrigeradores com variações de potência menos acentuadas pode ajudar na vida útil do sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

AFONSO, Clito; CASTRO, Manuel. Air infiltration in domestic refrigerators: The influence of the magnetic seals conservation. **International Journal of Refrigeration**, Portugal, vol. 33, p. 856–867, 2010.

AGILENT TECHNOLOGIES. **E4350B, E4351B**. USA. Fevereiro de 2006. Disponível em: <<http://www.testequipmenthq.com/datasheets/Agilent-E4350B-Datasheet.pdf>>. Acesso em 10 de abril de 2019.

AKPAN, Uduak; ESSIEN, Maurice; ISIHAK, Salisu. The impact of rural electrification on rural micro-enterprises in Niger Delta, Nigeria. **Energy for Sustainable Development**, Nigéria, vol.17, p.504–509, 2013.

BANSAL, P. K ; CHIN, TC. Modelling and optimisation of wire-and-tube condenser. **International Journal of Refrigeration**, Nova Zelândia, vol.26, p.601-613, 2003.

BASSIOUNY, Ramadan. Evaluating the effect of the space surrounding the condenser of a household refrigerator. **International Journal of Refrigeration**, Egito, vol.32, p.1645-1656, 2009.

BELMAN-FLORES, J.M; BARROSO-MALDONADO, J.M; RODRÍGUEZ-MUÑOZ, A.P.; CAMACHO-VÁZQUEZ, G. Enhancements in domestic refrigeration, approaching a sustainable refrigerator – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, México, vol. 51, p. 955-968, 2015.

BRUM, T. S. **Projeto de uso de energia fotovoltaica como fonte emergencial**. 2013. 64 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:< <http://unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaeletrica/sumario/69/06022019135948.pdf>> . Acesso em: 28 mar. 2019

DINIZ, Marco Carrilho. **Análise numérico-experimental de compressores alternativos em transientes periódicos típicos de refrigeradores domésticos**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade

Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/handle/12L3456789/193951>. Acesso em: 19 de abril de 2019.

DOW CHEMICAL COMPANY. **Boletim Técnico Dowfrost**, 2019. Disponível em:
<<https://www.dow.com/webapps/lit/litorder.asp?filepath=/heattrans/pdfs/noreg/180-01587.pdf&pdf=true>>. Acesso em: 5 outubro de 2019.

INDICE DE COMPETITIVIDADE GLOBAL, **Fórum Econômico Mundial**, 2015. Disponível em: <<http://reports.weforum.org/>>. Acesso em: 5 de maio de 2019.

GHADIRI, F; RASTI, M; The effect of selecting proper refrigeration cycle components on optimizing energy consumption of the household refrigerators. **Applied Thermal Engineering**. Iran, vol. 67, p. 335- 340, 2014.

GUPTA, B.L; BHATNAGAR, M; MATHUR, J. Optimum sizing of PV panel, battery capacity and insulation thickness for a photovoltaic operated domestic refrigerator. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. Índia, vol. 7, p.55-67, 2014.

HEYDRICH, Marcelo Dal Zotto. **Análise do desempenho de refrigeradores domésticos alimentados por um sistema autônomo de energia solar fotovoltaica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

IEC 62552-2:2015. **Household refrigerating appliances** - Characteristics and test methods - Part 2: Performance requirements.

ISO 8561:1995 **Household refrigerating appliances** – Refrigerators, refrigerator-freezers, frozen food storage cabinets and food freezers cooled by internal forced air circulation – Characteristics and test methods.

MOHANTY, Parimita; MUNEEER, Tariq; KOLHE, Mohan. **Solar Photovoltaic System Applications: A Guidebook for Off-Grid Electrification**. 1.ed. New York: Springer, 2016. E-book. Disponível em:

https://www.academia.edu/25064628/Solar_Photovoltaiac_System_Applications_A_Guidebook_for_Off-Grid_Electrification. Acesso em: 20 mar. 2019.

PISANO, A; MARTINEZ-BELLESTER, S; CORBERÁN, J.M; MAURO, A.W. Optimal design of a light commercial freezer through the analysis of the combined effects of capillary tube diameter and refrigerant charge on the performance. **International Journal of Refrigeration**, Espanha, vol. 52, p.1-10, 2015.

PROKHIAL, S; KHASTOO, B; MODARRES RAZAVI, MR. Transient response of finned-tube condenser in household refrigerators. **Applied Thermal Engineering**. Iran, vol.26, p.1725-1729, 2006.

SAHU, B. K; A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. India, vol. 43, p. 621-634, 2015.

SIEMENS Showa Solar Pte. Ltd. Solar module SP75. Alemanha. Novembro de 2018. Disponível em: <https://www.abcsolar.com/pdf/sp75.pdf>. Acesso em 25 de abril de 2019.

SISTEMAS de energia solar fotovoltaica e seus componentes. In:NEOSOLAR. São Paulo. 22 de abril.2019. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 22 de abril. 2019.

WORLD ENERGY OUTLOOK 2018. **International Energy Agency**. França: OECD/IEA, 2018. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo2018/>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

YOKUGAWA. **WT300E**. USA. 2017. Disponível em: <<https://tmi.yokogawa.com/us/solutions/products/power-analyzers/digital-power-meter-wt300e/>>. Acesso em: 13 ago. 2019.