

ANÁLISE SOBRE A INTEGRAÇÃO DE DEMANDA DE POTÊNCIA DO SISTEMA DE PISO AQUECIDO COM A GERAÇÃO ATRAVÉS DE PLACAS FOTOTOVOLTAICAS

FAEZ, Joanluca¹

CAMPOS, Thiago Prado de²

RESUMO: O presente trabalho de pesquisa examina algumas questões relacionadas a integração entre sistemas de aquecimento por piso para conforto térmico e geração de energia fotovoltaica, com o objetivo de otimizar o consumo energético e promover a sustentabilidade em residências. Em consequência da crescente busca por melhores condições para a quarentena e novas modalidades de trabalho, durante a pandemia, contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa, que visa realizar uma análise da viabilidade econômica e ambiental da integração de sistema de geração e de promoção de conforto térmico, tendo em vista que esses sistemas demandam alto consumo de energia. A abordagem adotada foi de caráter exploratório, com um estudo de caso em uma residência instalada e o consumo de energia. A pesquisa modelou diferentes perfis de uso, comparando controladores convencionais e com tecnologia inverter, além de dimensionar o sistema fotovoltaico necessário para suprir a demanda do sistema de piso aquecido. Os resultados mostram que adotar um perfil de consumo moderado, junto ao uso de controladores inverter, é uma solução eficiente e sustentável, equilibrando conforto térmico, eficiência energética e viabilidade econômica.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento por piso, Energia fotovoltaica, Eficiência energética.

ABSTRACT: The present research examines some issues related to the integration of underfloor heating systems for thermal comfort and photovoltaic energy generation, with the aim of optimizing energy consumption and promoting sustainability in residential settings. The growing demand for better conditions during quarantine and new work modalities during the pandemic contributed to the development of this study, which seeks to analyze the economic and environmental feasibility of integrating energy generation and thermal comfort systems, given the high energy demand of such systems. The approach adopted was exploratory in nature, involving a case study of a high-end residence in Guarapuava, where resistance measurements were conducted to calculate installed power and energy consumption. The research modeled different usage profiles, comparing conventional controllers with inverter technology, and also sized the photovoltaic system required to meet the demand of the underfloor heating system. The results indicate that adopting a moderate consumption profile, combined with the use of inverter controllers, is an efficient and sustainable solution, balancing thermal comfort, energy efficiency, and economic viability.

KEYWORDS: Underfloor heating, Photovoltaic energy, Energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Com o advento da pandemia, a importância de ter um ambiente confortável e saudável se tornou ainda mais evidente, já que as pessoas passaram mais tempo em casa e procuraram melhorar seu bem-estar doméstico. A procura por melhorias no conforto térmico das residências tem se intensificado cada vez mais, por este e outros

¹ Graduando(a) de Engenharia Elétrica no Centro Universitário Campo Real.
enge-joanlucafaez@camporeal.edu.br

² Graduado em Engenharia Elétricas. Professor no Centro Universitário do Campo Real.
prof_institucional@camporeal.edu.br

motivos. As pessoas buscam soluções para manter suas casas agradáveis e acolhedoras, independentemente das variações climáticas. Isso inclui isolamento térmico, ventilação adequada e sistemas de aquecimento ou resfriamento eficientes (MELO, 2021).

Por outro lado, dado o crescente interesse por eficiência energética, torna-se imprescindível encontrar alternativas sustentáveis, tal como promover a autogeração de energia, para equilibrar a demanda energética e para viabilizar a aplicação dos sistemas de calefação. Esse esforço deve ser conduzido com uma ênfase significativa no aspecto ecológico (VETTORAZZI, 2011).

Neste contexto, uma possibilidade para atenuar essa problemática é a integração desses meios de climatização, especificamente os de alto consumo elétrico, com um sistema de geração por fontes renováveis, conforme apresenta Esteves (2010). Sendo assim, como a geração por placas fotovoltaicas vem tendo um grande crescimento na matriz energética brasileira, o presente trabalho irá abordar a intrageração do sistema de aquecimento por piso aquecido, considerando a demanda de energia, e a geração de energia, utilizando fonte solar (OLIVEIRA, 2022).

O sistema de aquecimento por piso aquecido é constituído, de forma simplificada, por cabos de resistência elétrica distribuídos no contrapiso, abaixo do revestimento, em forma de serpentina. Através do efeito Joule, as resistências elétricas aumentam suas temperaturas e as transmitem para o contrapiso, revestimento, e posteriormente, para o ambiente na forma de calor. Essa forma de aquecimento é mais homogênea em comparação com ar-condicionado por conta da forma de instalação das resistências (SCHMID et al., 2005).

Todavia, o piso aquecido tem uma alta potência elétrica, devido as suas resistências que compõe o sistema, podendo chegar a 100 W/m^2 , mesmo com aplicação de materiais isolante no contrapiso, e um sistema de controle com termostatos por ambientes individuais. Dessa forma, mesmo não necessitando de manutenções periódicas, o sistema de aquecimento tem um alto consumo e conseqüentemente um alto custo na tarifa de energia, dependendo do perfil de consumo. (SCHMID et al., 2005).

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma pesquisa do funcionamento sobre sistemas de energia fotovoltaica e sistemas de piso aquecido, bem como a análise da comparação de custos, bem como apresentar vantagens e

desvantagens dessa integração. Além disso, trazer formas de uso para otimização e economia do aquecimento integrado com a geração fotovoltaica.

2 METODOLOGIA

Segundo Toledo (2009), o presente trabalho pode ser enquadrado como uma pesquisa quantitativa, pois a análise se dá através de dados objetivos e mesuráveis, obtidos por meio de testes de experimentos controlados. Sendo assim, como o método se dá através de coleta de dados em um caso específico, em uma residência que consta com o sistema de piso aquecido instalado, caracteriza-se, dessa forma, como um estudo de caso.

Para o desenvolvimento deste estudo, foi selecionada uma residência de alto padrão que compreende diferentes estágios de execução, abrangendo processos de construção, acabamento e finalização. A residência está localizada no bairro Trianon, na cidade de Guarapuava. Nesse projeto, foram instalados aproximadamente 202 m² de piso aquecido, distribuídos em nove ambientes.

Na etapa de aquisição de dados para o estudo, adotou-se o método de medição utilizando um ou mais medidores de corrente e resistência, como o alicate amperímetro, conforme mostrado Figura 1. Estes equipamentos podem medir tensão, corrente, resistência entre outras particularidades (MINIPA, 2016).

Figura 1 – Alicate Amperímetro



Fonte: (MINIPA, 2016)

Dessa forma, com o detalhamento dos dados aferidos, busca-se calcular a potência instalada em cada ambiente em kW (kilowatt), além dos dados de corrente e

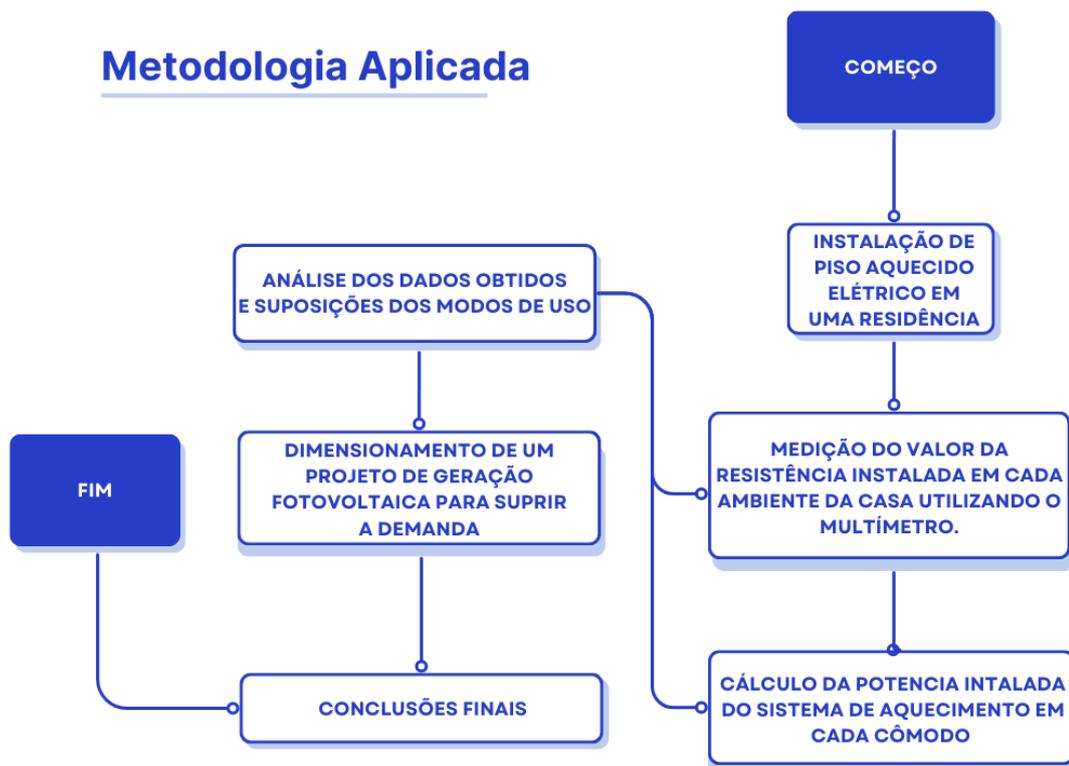
resistência, utilizando como referência os métodos de cálculo de Filho (2019), que serão abordados mais pormenorizadamente ao longo do trabalho. Ademais, ao detalhar todos esses dados, é possível estabelecer um valor médio de potência instalada por metro quadrado.

Em seguida, com base nos dados de potência calculados, procura-se estimar o consumo médio do sistema de piso aquecido da residência. Para isso, utilizam-se os métodos de modelagem descritos por Ferreira (2015). No entanto, para prosseguir com os cálculos, é necessário conhecer alguns dados referentes ao modo de uso do piso aquecido. Devido à volatilidade desses dados por diversos fatores, a obtenção deles se dará através de suposições.

Após a análise dos dados obtidos, busca-se estimar a quantidade de potência em kWp (kilowatt-pico) necessária para suprir a demanda de piso aquecido em m² em diferentes cenários de eficiência energética. E ainda, dimensionar a quantidade e potência dos módulos fotovoltaicos a serem instalados em cada uma das residências.

A metodologia proposta para esta pesquisa foi desenvolvida seguindo as etapas apresentadas no diagrama da Figura 2.

Figura 2 - Resumo da metodologia



Fonte: Autor (2024)

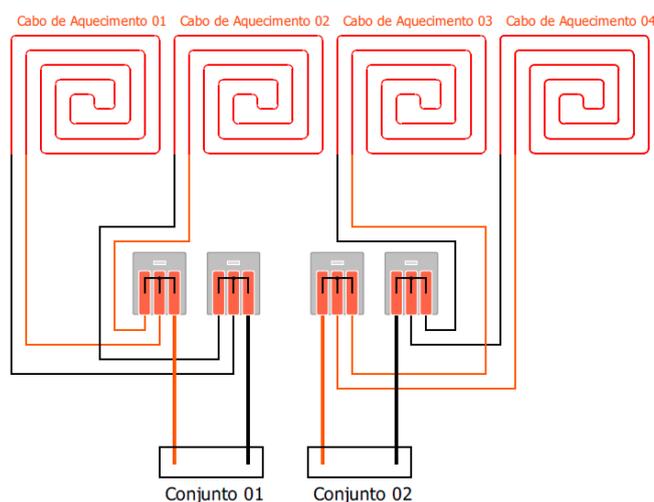
3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir da análise da integração entre o sistema de piso aquecido e a geração de energia por meio de placas fotovoltaicas. Os dados foram coletados e analisados considerando diferentes aspectos como resistência, potência e modos de uso. A seguir, detalhamos as principais descobertas e implicações desta integração.

Para entender a eficiência do sistema de piso aquecido, foram realizadas leituras de resistência nos componentes principais, cabos de aquecimento. Estas leituras permitiram identificar as perdas de energia em formato de potência elétrica, Watts. Porém, como citado por Filho (2019), em uma resistência elétrica a perda de energia é, na verdade, convertida em calor, pois em seu material ocorre o efeito joule. Nesse contexto, uma vez que o sistema resistivo aqui aplicado tem como objetivo principal a produção de calor, podemos considerar essa perda como a potência efetiva do sistema (LOPES, 2022).

Para a obtenção dos valores de resistência de cada circuito foi utilizado o alicate amperímetro na escala de 200 ohms, junto com suas ponteiros de prova. O número de cabos de aquecimento em cada ambiente pode variar de 2 a 6 nesta residência. Entretanto, como cada controlador de piso aquecido tem duas entradas para alimentação 220V e quatro entradas para acoplar os cabos de aquecimento, se faz necessário dividir os cabos em dois conjuntos separados, como mostrado na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Disposição dos cabos de aquecimento



Fonte: Autor (2024)

Pode-se observar que os conjuntos e seus terminais estão distribuídos em paralelo. Deve-se levar em consideração essa informação para o prosseguimento dos cálculos e, conseqüentemente, o dimensionamento da demanda energética do sistema. Os valores aferidos estão apresentados na Tabela 1 logo a seguir:

Tabela 1 – Leituras das resistências de cada ambiente

Ambiente	Resistência do Conjunto 01 (ohm)	Resistência do Conjunto 02 (ohm)
Suíte Master	48,700	41,200
Closet	49,400	45,400
Banheiro Master	35,500	69,020
Suíte 01	27,200	22,100
Suíte 02	22,400	27,700
Sala de Estar	27,800	29,600
Sala de TV	42,000	49,100
Corredor	25,500	
Academia	69,800	34,800

Fonte: Autor (2024).

Quando duas ou mais resistências estão conectadas em paralelo, a resistência equivalente pode ser determinada pela soma dos inversos das resistências individuais. Este cálculo é essencial para dimensionar corretamente a demanda energética e garantir o funcionamento eficiente do sistema de piso aquecido (Petry, Pereira, & Lages, 2021).

A seguir, apresenta-se a Tabela 2, que contém os valores calculados das resistências equivalentes para cada ambiente, considerando a conexão em paralelo dos conjuntos de resistências.

Tabela 2 – Resistências equivalentes de cada ambiente

Ambiente	Resistência Equivalentes (ohm)
Suíte Master	22,319
Closet	23,658
Banheiro Master	23,463
Suíte 01	12,193
Suíte 02	12,385
Sala de Estar	14,336
Sala de TV	22,637
Corredor	25,500
Academia	23,222

Fonte: Autor (2024).

Com base nas leituras de resistência, foi possível calcular a potência requerida pelo sistema de piso aquecido. Esta análise abrangeu tanto a potência instantânea, que é a energia consumida pelo sistema em um dado momento específico, quanto a potência acumulada ao longo do tempo, que proporciona uma visão abrangente do consumo energético total. Esse tipo de análise é fundamental para entender o comportamento energético do sistema, permitindo não apenas identificar padrões de consumo, mas também otimizar o uso da energia de forma eficiente e sustentável (RUBACK, 2016).

Para realizar esses cálculos, foi utilizado o método descrito por Filho (2019), que oferece duas abordagens distintas para calcular a potência. A primeira abordagem é mais direta e envolve um cálculo simples e rápido, apresentada pela Equação 1:

$$Potência = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Onde:

- “V” representa a diferença de potencial ou tensão, medida em Volts (V), em que a resistência está sendo submetida.
- “R” representa o valor de resistência medido em Ohms (Ω).

Entretanto, optou-se por utilizar a segunda abordagem que, embora mais complexa, permite uma análise mais detalhada e precisa dos diferentes componentes do sistema, onde é necessário calcular a corrente primeiramente antes de determinar a potência, descrita pela Equação 2:

$$Potência = V * I \quad (2)$$

Onde:

- “I” representa a corrente que passa pela resistência, medido em amperes (A).

Esta abordagem, embora mais complexa, permite uma análise mais detalhada e precisa dos diferentes componentes do sistema.

Considerando esses aspectos, a escolha pelo método da Equação 2 se mostrou mais adequada. Esse método detalhado não apenas expõe a corrente final do sistema como um todo, mas também permite calcular a corrente individual de cada circuito elétrico por ambiente. Essa análise pormenorizada é crucial para identificar possíveis desbalanceamentos ou ineficiências em circuitos específicos, possibilitando assim melhorias no design e operação do sistema de piso aquecido.

Ao fornecer uma visão detalhada e segmentada do consumo de energia, este método contribui significativamente para a gestão eficaz da energia e para a integração harmoniosa com sistemas de geração de energia, como as placas fotovoltaicas. Com isso, para calcularmos I em função de R, temos a Equação 3 logo abaixo, juntamente com os resultados obtidos utilizando a resistência equivalente de cada ambiente apresentados na Tabela 3:

$$I = \frac{V}{R} \quad (3)$$

Tabela 3 – Corrente calculada por ambiente

Ambiente	Resistência Equivalentes (ohm)	Tensão de alimentação (Volts)	Corrente (Amperes)
Suíte Master	22,319	220	9,857

Closet	23,658	220	9,299
Banheiro Master	23,463	220	9,376
Suíte 01	12,193	220	18,043
Suíte 02	12,385	220	17,764
Sala de Estar	14,336	220	15,346
Sala de TV	22,637	220	9,719
Corredor	25,500	220	8,627
Academia	23,222	220	9,474

Fonte: Autor (2024).

Dessa forma, obtêm-se os valores das incógnitas de corrente elétrica para cada ambiente, que são então aplicados na Equação 2 para calcular a potência de cada ambiente. Além disso, conforme observado na Tabela 3, os valores de corrente são inversamente proporcionais aos de resistência. O mesmo princípio se aplica à potência por ambiente, conforme apresentado na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Potência calculada por ambiente

Ambiente	Tensão de alimentação (Volts)	Corrente (Amperes)	Potência instantânea (Kilowatts)
Suíte Master	220	9,857	2,169
Closet	220	9,299	2,046
Banheiro Master	220	9,376	2,063
Suíte 01	220	18,043	3,969
Suíte 02	220	17,764	3,908

Sala de Estar	220	15,346	3,376
Sala de TV	220	9,719	2,138
Corredor	220	8,627	1,898
Academia	220	9,474	2,084

Fonte: Autor (2024).

Estes cálculos fornecem uma visão clara de como a corrente e a potência variam em diferentes ambientes. Para fornecer uma visão completa e consolidada do consumo de energia da residência. Ademais, Tabela 5 a seguir apresenta os valores somados de todos os ambientes. Esta tabela sintetiza a potência total instalada na residência, permitindo uma análise geral do consumo energético e facilitando a e integração com sistemas de geração de energia, como as placas fotovoltaicas.

Tabela 5 – Potência total da residência

Ambiente	Tensão de alimentação (Volts)	Corrente (Amperes)	Potência instantânea (Kilowatts)
Área Total	220	107,506	23,651

Fonte: Autor (2024).

Antes de prosseguir para o dimensionamento do consumo da residência, deve-se ter a compreensão de que os modos de funcionamento e uso do sistema de aquecimento de piso são essenciais para analisar o desempenho energético. O estudo dos modos de funcionamento revela como o sistema mantém a temperatura desejada de forma eficiente, alternando entre operação contínua e intermitente. A análise dos modos de uso permite identificar diferentes perfis de consumo energético, variando desde perfis conservadores até consumistas, possibilitando um planejamento ajustado às necessidades e ao contexto climático.

Esses fatores são cruciais para calcular o consumo elétrico do piso aquecido de maneira precisa. Ao dimensionar o consumo elétrico, considera-se a potência necessária para manter o ambiente aquecido nos diferentes modos de funcionamento, bem como o período em que o sistema permanece ligado. Vale ressaltar que os dados

apresentados são estimativas oriundas de um conhecimento empírico, o que implica na necessidade de ajustes conforme variações práticas e específicas do local (LOPES; SOARES; ROGGIA, 2013).

A primeira estimativa que aborda essa etapa, é sobre o funcionamento natural de um controlador ou termostato de piso aquecido. O controlador tem como função principal habilitar ou não que a energia elétrica percorra a resistência dos cabos de aquecimento, realizando o procedimento de forma automática. Sendo assim, ao ligar o controlador deve-se configurar uma temperatura limite, a essa temperatura pode-se intitular como temperatura de conforto térmico do usuário. Para essa temperatura será estimada a partir de agora o valor de 22 °C.

Dessa forma, ao chegar na temperatura de conforto térmico, o controle desabilita a passagem de corrente, impedindo que a temperatura aumente demasiadamente. Entretanto, é natural que ocorra fuga de calor, resfriando o ambiente, principalmente por condução térmica nas paredes e convecção devido troca de massas de ar, resfriando o ambiente. Nesse momento o controle religa o sistema de aquecimento apenas para suprir o calor perdido.

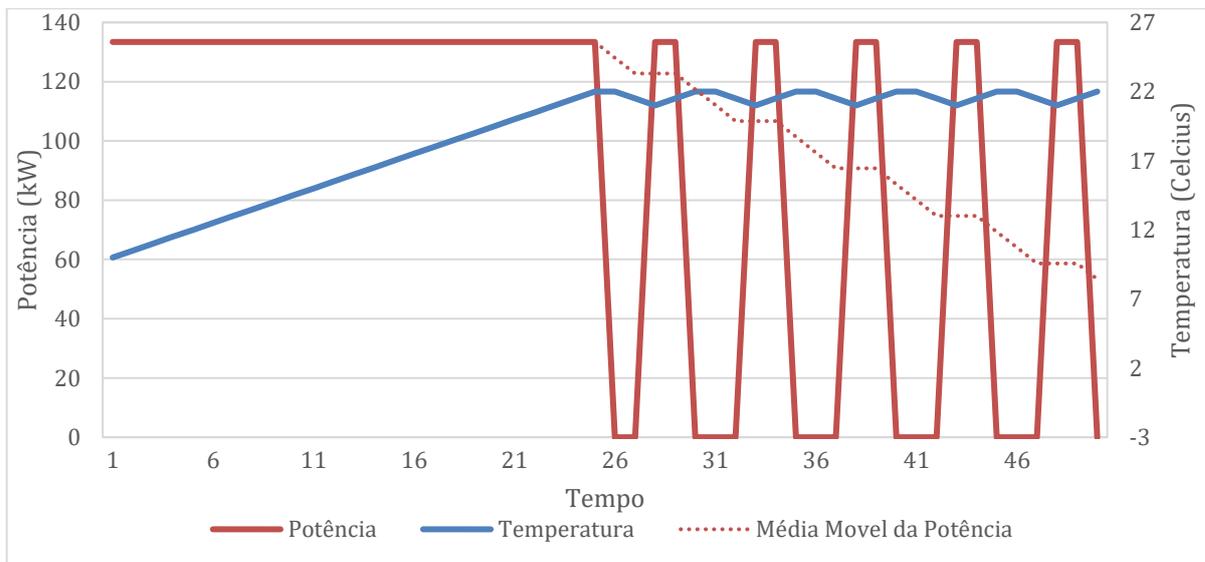
A partir das considerações acima, é possível determinar que o dimensionamento do consumo elétrico do sistema de aquecimento de piso depende não apenas da potência instalada, mas também da eficiência do isolamento térmico do ambiente. Um bom isolamento pode reduzir significativamente o consumo energético, mantendo a temperatura de conforto por mais tempo e reduzindo a frequência de acionamento do sistema (LOPES; SOARES; ROGGIA, 2013).

Portanto, avaliar as condições específicas de cada residência é crucial para estimar com precisão o consumo e otimizar o desempenho do sistema. Contudo, a complexidade e a multiplicidade de fatores que influenciam o desempenho térmico e funcional do sistema de aquecimento de piso impediram um estudo detalhado. As variáveis envolvidas, como a eficiência do isolamento térmico, características dos materiais de construção, condições climáticas locais e hábitos de uso, são numerosas e interdependentes, dificultando uma análise exaustiva.

Sendo assim, optou-se por uma abordagem mais especulativa e empírica, baseando-se em conhecimentos práticos e estimativas gerais para fornecer uma visão aproximada do consumo energético. Essa metodologia permite uma compreensão inicial e orientadora, que pode ser ajustada e refinada à medida que estudos mais específicos e detalhados sejam conduzidos.

Dessa forma, pode-se afirmar que o controlador fará com que o sistema de piso aquecido funcione de duas maneiras. No primeiro momento de maneira contínua, até atingir a temperatura de conforto térmico. E em um segundo momento de maneira intermitente, apenas para repor o calor e retornar para a temperatura programada. Para melhor entendimento, os modos de funcionamentos estão apresentados no Gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1 – Esboço do funcionamento do termostato



Fonte: Autor (2024).

É possível verificar no gráfico acima, que até o tempo de amostra “25” o sistema de aquecimento funciona de modo linear, com o aumento da temperatura decorrente da potência máxima, atuante dos cabos calefatores, até atingir a temperatura de conforto de 22 °C. Após isso, o sistema alterna entre ligado, quando a temperatura abaixa até próximo de 21 °C, e desligado quando a temperatura atinge ou excede o valor programado, alterando dessa forma seu consumo. Sendo assim, é possível afirmar que na segunda etapa o controlador permanece apenas uma fração do tempo ligado, que será estimada no valor de 1/2 do tempo.

Seguindo agora para os modos de uso do sistema de piso aquecido. Estes foram definidos com base em suposições realistas de uso diário. Estas suposições são essenciais para compreender e prever a demanda de potência em diferentes cenários de operação. A definição de modos de uso permite analisar a eficiência do sistema sob diversas condições, proporcionando uma base sólida para otimização e planejamento energético. Para tanto, estimou-se uma escala de uso que varia de um

perfil mais consumista até um perfil mais conservador, conforme observado na Figura 4 a seguir:

Figura 4 – Detalhamento dos perfis de consumo



Fonte: Autor (2024).

Após isso, parte-se para o cálculo da demanda energética do sistema de aquecimento. Ao dimensionar o consumo elétrico, considera-se a potência necessária para manter o ambiente aquecido nos diferentes modos de funcionamento, assim como a duração do tempo de aquecimento. Esse processo envolve a análise da potência exigida para alcançar e manter a temperatura desejada, alternando entre operação contínua e intermitente.

Além disso, é essencial avaliar o período em que o sistema permanece ligado, o que influencia diretamente no consumo energético total. Esses fatores combinados proporcionam uma estimativa do consumo elétrico, permitindo ajustes e otimizações conforme as características específicas de uso e desempenho do sistema de aquecimento de piso. Segundo Ferreira (2015), para estimar o consumo elétrico mensal deve-se calcular o valor através da Equação 4 a seguir:

$$\frac{\text{Consumo}}{\text{mês}} = \frac{P * Qte * h * d}{1000} \quad (4)$$

Dado as seguintes variáveis:

- Potência do equipamento (Watts) = P;
- Quantidade de aparelhos (unidade) = Qte;
- Tempo de uso diário (horas) = h;
- Dias de uso mês (dias) = d;

Entretanto faz-se necessário ajustar a fórmula para adequar-se ao cálculo correto do consumo do piso aquecido. Dessa forma, para o valor da potência usa-se os valores obtidos na Tabela 5.

Para a quantidade de horas utilizou-se os dados obtidos no site Climate-Data.org (2024). Onde verificou-se os meses que tiveram menor temperatura, e posteriormente analisou-se a média de temperaturas mínimas desses meses, na localidade da instalação. Dessa forma, selecionou-se os meses de maio, julho, julho e agosto. Além disso, também por meio do site de análise climática, estimou-se o total de dias no ano onde o sistema de aquecimento atuará, chegando ao valor de cerca de 70 dias.

Com esses dados é possível obter a temperatura primária, mínima, onde o piso aquecido partiu a atuação, tendo dessa forma, o tempo que o piso ficou ligado no modo contínuo até atingir a temperatura de conforto de 22 °C, como apresentado na Equação 05. Este valor é independente dos perfis de uso, pois trata-se da mesma residência em ambos os casos. Para isso, usou-se a média de 4 °C/h (graus celsius por hora) como velocidade de aquecimento. Assim como outras medidas aqui apresentadas, esta trata-se de uma estimativa baseada em conhecimento empírico.

$$\text{Tempo no modo contínuo} = \frac{\text{média das temperatura mínimas}}{\text{velocidade de aquecimento}} \quad (5)$$

$$\text{Tempo no modo contínuo} = \frac{10,28 \text{ } ^\circ\text{C}}{4 \text{ } ^\circ\text{C/h}} = 2,57 \text{ horas}$$

Seguindo, com relação ao cálculo do tempo em que sistema atuou no modo intermitente, para cada perfil de consumidor, deve-se subtrair o tempo no modo contínuo em relação ao tempo total. Em seguida, deve-se encontrar o tempo em que realmente o termostato ficaria ligado. Para isso utilizou-se uma proporção 1/3 do tempo no modo intermitente em relação a diferença de tempo observada acima. O exemplo do cálculo usado para estimar o perfil moderado, assim como a equação, estão apresentados na Equação 6 logo abaixo:

$$\text{Tempo modo intermit} = \frac{(\text{Tempo total}) - (\text{Tempo no modo contínuo})}{\text{Proporção do funcionamento termostato}} \quad (6)$$

$$\text{Tempo no modo intermitente} = \frac{(8) - (2,57)}{3} = 1,81 \text{ horas}$$

Aplicando a mesma lógica matemática aos demais perfis de consumo já estipulados, obtém-se os valores apresentados na Tabela 6 a seguir, que além dos valores do tempo em modo intermitente já traz a somatória junto ao tempo no modo contínuo, conforme observa-se logo abaixo:

Tabela 6 – Tempo de uso por perfil

Perfil	Tempo Teóricas de Uso (horas)	Tempo no Modo Contínuo (horas)	Tempo no Modo Intermitente (horas)	Tempo total de Uso (horas)
Muito Conservador	3	2,57	0,14	2,71
Conservador	5	2,57	0,81	3,38
Moderado	8	2,57	1,81	4,38
Consumista	12	2,57	3,14	5,71
Muito Consumista	24	2,57	7,14	9,71

Fonte: Autor (2024).

Com esses elementos até então calculado e estimados, tem-se todas as variáveis para aplicar na fórmula e calcular então o valor do consumo total anual que o sistema de piso aquecido pode demandar, levando como consideração os diferentes comportamentos dos usuários. O consumo anual de cada perfil pode-se observar na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 – Consumo anual por perfil consumidor

Perfil	Tempo total de Uso (horas)	Potência instantânea (kW)	Consumo Diário (kWh)	Quantidade de Dias	Consumo Anual (MWh)
Muito Conservador	2,71	23,651	64,153	70	4,304
Conservador	3,38	23,651	79,92	70	5,408
Moderado	4,38	23,651	103,571	70	7,064
Consumista	5,71	23,651	135,106	70	9,271
Muito Consumista	9,71	23,651	229,71	70	15,893

Fonte: Autor (2024).

A tomada de estimativa até aqui apresentada é referente a um sistema controladores genéricos de temperatura, ou termostatos. Agora, para que essa análise se torne fidedigna á residência escolhida, deve-se utilizar a mesma análise, porém utilizando como referência os controladores com tecnologia inverter, que estão presentes em todos os ambientes com o sistema de aquecimento instalado.

Segundo MarcoA (2024), o controlador fornecido pela empresa possui a tecnologia inverter, com redução de consumo estimado para o setor residencial de até 60% quando comparado com demais controladores e termostatos comumente comercializados. Porém, para o prosseguimento do presente artigo, utilizou-se uma redução de aproximadamente 40%, para manter uma certa margem de segurança e, ao mesmo tempo, uma estrapolação do dimensionamento, pois há múltiplas variáveis que podem alterar o consumo do piso aquecido, principalmente no setor residencial.

Para título de informação, o dimensionamento da geração fotovoltaica será realizado para os dois senários de controle de sistema de aquecimento. Dessa forma, aplicando a redução do de 40% referente a tecnologia inverter, obtém-se os valores apresentados na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 – Consumo anual por perfil consumidor

Perfil	Consumo Anual do Termostatos (MWh)	Consumo Anual do Controlador Inverter (MWh)
Muito Conservador	4,304	2,583
Conservador	5,408	3,245
Moderado	7,064	4,238
Consumista	9,271	5,563
Muito Consumista	15,893	9,536

Fonte: Autor (2024).

Com base na demanda de potência observada, realizou-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico necessário para suprir essa demanda. Este dimensionamento considera a capacidade das placas fotovoltaicas e a disponibilidade de luz solar na

região, bem como a potência instalada necessária do sistema fotovoltaico em kWp (kilowatt-pico) para cada perfil de usuário.

Segundo CRESESB (2014), para o dimensionamento do sistema de geração se faz necessário calcular o consumo anual em anos anteriores ou, como é o caso deste estudo de caso, estimar o consumo total em um ano para novas instalações e demandas energéticas. Esta estimativa está apresentada na Tabela 7. Após isso, deve-se calcular o consumo mensal médio anual, dividindo o valor por 12 meses. Seguindo a mesma lógica, obtém-se o valor de do consumo médio diário dividindo o resultado por 30 dias. Os diferentes resultados dessa etapa de cada um dos perfis estão apresentados na Tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Consumo médio diário de diferentes perfis

Perfil	Consumo Anual (MWh)	Consumo Mensal Médio Anual (kWh)	Consumo Médio Diário (kWh)
Muito Conservador	4,304	358,707	11,957
Conservador	5,408	450,683	15,023
Moderado	7,064	588,647	19,622
Consumista	9,271	772,599	25,753
Muito Consumista	15,893	1324,456	44,149

Fonte: Autor (2024).

Dessa forma, seguindo esse método, estima-se o valor de demanda de consumo médio diário que o sistema de geração terá de suprir.

Em seguida, multiplicou-se o valor obtido pela taxa média de incidência solar da região, cujo valor, de 4,54 (kWh/m²/dia), foi obtido a partir de uma consulta no próprio portal cresesb.cepel.br. Esse procedimento resulta na determinação da potência do sistema fotovoltaico, expressa em kWp. A obtenção dessa métrica é fundamental para assegurar que o sistema de geração fotovoltaica será dimensionado de maneira precisa, levando em consideração as particularidades da radiação solar

disponível no local de instalação. Os valores das potências de geração podem ser observados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 – Potência sistema fotovoltaico para diferentes perfis consumidores

Perfil	Consumo Médio Diário (kWh)	Incidência Solar (kWh/m²dia)	Potência Sistema Fotovoltaico (kWp)
Muito Conservador	11,957	4,54	2,634
Conservador	15,023	4,54	3,309
Moderado	19,622	4,54	4,322
Consumista	25,753	4,54	5,673
Muito Consumista	44,149	4,54	9,724

Fonte: Autor (2024).

Conforme demonstrado na Tabela 9, há uma diferença significativa nos valores de potência que o sistema fotovoltaico deve gerar entre os diversos perfis de consumo. Essa observação destaca a importância de possuir um histórico detalhado de uso do sistema de equipamentos para um dimensionamento mais preciso. A disponibilidade desses dados históricos permite uma estimativa mais acurada das necessidades energéticas.

Para avançar com o dimensionamento de forma mais detalhada, é necessário obter dados que sejam mais claros e compreensíveis para um entendimento geral. Assim, procede-se ao dimensionamento do valor do investimento do sistema fotovoltaico para cada perfil de consumo, bem como à determinação do número de placas necessárias para atender a demanda energética especificada. Assim como nos cálculos e estimativas anteriores, os seguintes dados serão apresentados referentes a cada perfil.

Quanto ao valor do investimento, procurou-se analisar o valor médio da potência (kWp) comercializado na cidade de Guarapuava, chegando ao valor de cerca de R\$3.500,00 por kWp. Esse valor foi obtido através de rápidas consultas em empresas do setor como Refac Energia, EngTec e Raltec Solar. De forma análoga, analisou-se também os modelos de placas mais comercializados na região, tendo

como resultado o modelo de 560 Wp. Com isso, formou-se os dados apresentados na Tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Dimensionamento sistema fotovoltaico

Perfil	Potência Sistema Fotovoltaico (kWp)	Valor Do Investimento	Nº de Painéis
Muito Conservador	2,634	R\$ 9.217,87	5
Conservador	3,309	R\$ 11.581,43	7
Moderado	4,322	R\$ 15.126,76	8
Consumista	5,673	R\$ 19.853,87	11
Muito Consumista	9,724	R\$ 34.035,21	18

Fonte: Autor (2024).

Agora, aplicando os mesmos métodos, calcula-se o dimensionamento da geração por painéis fotovoltaicos para a demanda de energia do sistema de aquecimento que utiliza a tecnologia inverter no seu controle, pegando como referência o consumo já estimando na Tabela 9. Dessa forma, obtém-se os dados apresentados na Tabela 12 a seguir:

Tabela 12 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico para sistemas com inverter

Perfil	Potência Sistema Fotovoltaico (kWp)	Valor Do Investimento	Nº de Painéis
Muito Conservador	1,580	R\$ 5.530,72	3
Conservador	1,985	R\$ 6.948,86	4
Moderado	2,593	R\$ 9.076,06	5
Consumista	3,404	R\$ 11.912,32	7
Muito Consumista	5,835	R\$ 20.421,13	11

Fonte: Autor (2024).

5 CONCLUSÕES FINAIS

Para concluir, este estudo apresentou algumas dificuldades significativas que impactaram a precisão das procedimentos, como a impossibilidade de realizar a medição de corrente com o sistema em pleno funcionamento. Essa limitação restringiu a coleta de dados diretamente durante o uso real do sistema, o que, em conjunto com a influência de diversos fatores de utilização, comprometeu uma avaliação mais detalhada. Esses fatores, como variações de temperatura ambiente e frequência de uso, criam um cenário complexo para a obtenção de medições uniformes e comparáveis.

Como recomendação prática, sugere-se que o dimensionamento do sistema seja feito considerando um perfil de consumo moderado. Esse parâmetro visa equilibrar a eficiência energética com as necessidades típicas do usuário, sem subdimensionar ou superestimar o consumo, oferecendo, portanto, um sistema mais adequado e economicamente viável para a maioria dos clientes.

Por fim, uma observação importante diz respeito à diferença de consumo entre sistemas com tecnologia inverter e os convencionais. O sistema com tecnologia inverter, ainda que represente um investimento inicial mais elevado, tende a oferecer economia energética ao longo do tempo, compensando esse custo em médio e longo prazo. Essa economia é significativa, especialmente para clientes que valorizam a sustentabilidade e a eficiência energética, uma vez que o sistema inverter ajusta a potência de forma contínua e precisa. Já o sistema sem inverter, embora tenha um custo inicial menor, apresenta um consumo energético mais elevado, o que se reflete em despesas operacionais mais altas, principalmente em períodos de uso intenso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Clima e condições meteorológicas médias em Guarapuava. Climate-Data.org. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/guarapuava-4487/#temperature-graph>>. Acesso em: 14 nov. 2024.

CRESESB, C. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2024

FERREIRA, M. V. V. et al. **Modelagem Matemática e o consumo de energia elétrica residencial**. Anais do VI Encontro Científico de Física Aplicada. **Anais...** Em: VI ENCONTRO CIENTÍFICO DE FÍSICA APLICADA. Vitória, Brasil: Editora Edgard Blücher, set. 2015. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/20074>> Acesso em: 10 nov. 2024

FILHO, C. P. **Eletricidade básica fundamentos, cálculos e elementos utilizados em circuitos 1ª edição**. Rio de Janeiro: Érica, 2019.

Lopes, A. L. P. (2022). Mecanismo de Transferência de Calor: Um Estudo Acerca da Relevância Deste Processo. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual da Paraíba.

LOPES, I.; SOARES, G. G.; ROGGIA, L. Estudo da viabilidade econômica da utilização de piso aquecido frente à lâmpadas incandescentes em abrigos escamoteadores. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul**, 2013.

MARCOA. **Residencial**. Disponível em: <<https://www.marcoa.net.br/residencial>>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MELO, A. Conforto térmico: o que é e como alcançá-lo em qualquer época do ano. **Casa e Jardim**, 22 jul. 2021.

MINIPA. **Minipa do Brasil - Alicates Digital - ET-3200B**. Disponível em: <<https://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-digitais/34-et-3200b#manual>>. Acesso em: 28 out. 2024.

OLIVEIRA, A. **Balanco Energético Nacional 2023**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2024.

Petry, B. M., Pereira, C. E., & Lages, W. F. (2021). Associação de Resistores: Análise de Circuitos Resistivos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RUBACK, Rodolfo Oliveira. **Análise de faltas em sistemas elétricos de potência considerando dados incertos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

SCHMID, A. et al. Aquecimento de pisos: revisão bibliográfica e estudo teórico do desempenho em regime transitório sob custo de energia variável no tempo. Em: ELACAC. Maceio/AL - brasil: ENCAC, 5 jul. 2005.

TOLEDO, L. A.; SHIRAISHI, G. Estudo de caso em pesquisas exploratórias qualitativas: um ensaio para a proposta de protocolo do estudo de caso. **Revista da FAE Curitiba**, p. 103–119, 1 jan. 2009.

VETTORAZZI, E. **Desenvolvimento de um anteprojeto de sistema de calefação por piso radiante com aproveitamento da energia solar**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.