

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME EMILIANO DA SILVA

SISTEMA DE CALEFAÇÃO ATRAVÉS DE AQUECIMENTO SOLAR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

GUILHERME EMILIANO DA SILVA

SISTEMA DE CALEFAÇÃO ATRAVÉS DE AQUECIMENTO SOLAR

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Esp. Maro Rogér Guérios

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa “Sistema de Calefação Através de Aquecimento Solar”, realizado pelo aluno Guilherme Emiliano da Silva, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Esp. Maro Rogér Guérios

DAMEC, UTFPR - Curitiba

Orientador

Prof. Dr. Luciano Fernando dos Santos Rossi

DAMEC, UTFPR - Curitiba

Avaliador

Prof. Dr. Eduardo Matos Germer

DAMEC, UTFPR - Curitiba

Avaliador

RESUMO

Silva, Guilherme Emiliano. Sistema de calefação através de aquecimento solar. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado e Licenciatura em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Apesar da região Sul brasileira apresentar invernos rigorosos, pouco se sabe por parte da população a respeito de sistemas de aquecimento. Em algumas casas são encontrados aquecedores elétricos portáteis, que acrescentam um valor significativo às finanças da família ou ainda podem gerar malefícios a saúde devido ao uso em excesso. Uma solução alternativa para este problema é a instalação de um sistema de calefação, de modo a aquecer todos os ambientes de uma residência. Entretanto, esta solução demanda um bom espaço para equipamentos e um alto investimento inicial, não sendo acessível nem tampouco interessante para quem procura uma solução para o frio. Logo este trabalho busca apresentar uma solução para um sistema de calefação que não exija grande espaço para instalação e que ainda seja acessível monetariamente para a população, de maneira sustentável.

Palavras-chave: Calefação, Energia Solar, Conforto térmico.

ABSTRACT

Silva, Guilherme Emiliano. Sistema de calefação através de aquecimento solar. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado e Licenciatura em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Although the Brazilian South region presents rigorous winters, little is known from the population about heating systems. Some houses have portable electric heaters that add significant value to the family's finances and can still create health hazards due to overuse. An alternative solution to this problem is the installation of a heating system, so as to warm all the environments of a residence. However, this solution requires a good space for equipment and a high initial investment, being neither accessible nor interesting for those looking for a solution to the cold. Therefore, this work aims to present a solution for a heating system that does not require large space for installation and that is still accessible monetarily to the population in a sustainable way.

Keywords: Heating. Solar energy. Thermal comfort.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - desenho esquemático do sistema Ondol	13
Figura 2 - Desenho esquemático de Calidarium e Ipocausto.....	14
Figura 3 - Exemplo de utilização de painéis fotovoltaicos.....	19
Figura 4 - Sistema passivo direto.....	21
Figura 5 - Sistema ativo	22
Figura 6 - Desenho de coletor plano	23
Figura 7 - desenho de coletor de foco.....	23
Figura 8 - Sistema de Transferência direta	24
Figura 9 - Sistema com chapa em tubo U	25
Figura 10 - Sistema de tubo de calor	26
Figura 11 - Reservatório térmico.....	27
Figura 12 - Esboço da planta baixa com serpentina de cobre.....	33
Figura 13 - Resistências térmicas dos fluidos e paredes	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Temperaturas Médias Mínimas durante o outono de inverno de 2013-2014	11
Tabela 2 - Número de Reynolds, Nusselt e coeficiente de transferência de calor da água.....	35
Tabela 3 - Calor resultante, e perdas para o ar e solo	36
Tabela 4 - Parâmetros de Calor e Área de Coletores	36
Tabela 5 - Custo mensal por equipamento	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Contexto do Tema	9
1.2	Caracterização do Problema	10
1.3	Objetivos	10
1.3.1	Objetivo Geral	10
1.3.2	Objetivos Específicos	10
1.4	Justificativa	11
1.5	Conteúdo ou Etapas do Trabalho	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Calefação	13
2.1.1	Aquecedores Elétricos	15
2.1.2	Aquecedores com utilização de caldeiras	15
2.1.3	Aquecedores de Piso Radiante	16
2.1.4	Bombas de Calor	16
2.1.5	Outros tipos de aquecimento	16
2.2	Radiação solar	16
2.2.1	Energia Fotovoltaica	17
2.2.2	Sistemas de Aquecimento	20
2.3	Variáveis de um sistema de calefação	28
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
3.1	Descrição da Metodologia	31
3.2	Justificativa da Metodologia	31
3.3	Produtos do projeto	31
4	HIPÓTESES	32
5	RESULTADOS	35
6	CONCLUSÕES	39
7	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do Tema

Por ser um país continental, o Brasil apresenta diferentes tipos de climas em cada uma de suas regiões, gerando uma amplitude térmica elevada diariamente entre seus estados, enquanto alguns destes sofrem com o excesso de calor e a escassez de água, outros por sua vez apresentam um clima gélido, com alto índice pluviométrico. Tendo em vista esta diferença de climas dentro do território, não se encontra nenhuma política de controle do conforto térmico para a população. O que não acontece em países que apresentam em todo seu território estações bem definidas e semelhantes, com invernos extremamente rigorosos e verões fortes na mesma escala. Desta forma se mostra a necessidade de uma legislação para controlar a temperatura dentro de ambientes públicos e residenciais. (MUSSOI e GOMES, 1997)

Por não existir tal política de controle de temperatura, e maior parte do país apresentar clima tropical torna-se desconhecida por grande população a possibilidade de ter a sua residência aquecida durante os dias de inverno. Portanto, os maiores investimentos da população no que diz respeito a conforto térmico está relacionado à compra de ventiladores e ar condicionados, com uma menor procura para o último, que consome uma grande quantidade de energia. (TIEPOLO, 2015)

Observa-se então, uma necessidade de apresentar à população alternativas para o problema do inverno, uma vez que as alternativas para épocas de grandes temperaturas existem soluções bem definidas e conhecidas pelos consumidores. As propostas para aquecimento tornam-se pouco atrativas devido a diversos fatores, entre eles estão: inexistência de divulgação dos produtos, falta de estrutura das famílias para receber equipamentos de calefação, alto custo de aquisição, manutenção e de consumo de energia elétrica. (VETTORAZZI et al, 2010)

Para viabilizar economicamente o consumo de um equipamento de aquecimento pode-se contar com painéis que absorvem a radiação solar (além de ser também uma forma de energia sustentável). Uma vez tendo minimizado o problema energético, é necessário analisar alternativas para a instalação de equipamentos de calefação para residências, tendo em vista que muitas não estão preparadas nem possuem estrutura para receber tais aparatos. (VETTORAZZI et al, 2010)

É importante observar como se dará a transferência de calor dentro de diferentes espaços e cômodos, quais materiais e ferramentas irão proporcionar um melhor aproveitamento e rendimento dos equipamentos e qual a melhor forma de instalação para diferentes ambientes. Levando em consideração a utilização da energia solar, deve-se estudar a incidência solar onde será aplicado o projeto, qual o aproveitamento desta energia e a viabilidade do uso em diferentes estações, principalmente em épocas com baixa taxa de incidência solar. (MUSSOI E GOMES, 1997).

1.2 Caracterização do Problema

A região Sul do país possui um inverno bem definido, em algumas cidades já se tornou comum temperaturas negativas, gerando fortes geadas e até mesmo ocasionando a queda de neve. (MUSSOI E GOMES, 1997)

O frio rigoroso pode levar pessoas a adoecer, impossibilitá-las de sair de casa e até mesmo dificultar atividades cotidianas. Tudo isso devido à falta de estrutura para receber tempos mais gélidos. A falta de informação e o baixo poder aquisitivo impedem a população de ter um sistema de aquecimento em casa, além disso não existe regulamentação para instalação de sistemas de calefação em regiões mais frias do país. (TIEPOLO, 2015)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta proposta de projeto é elaborar uma forma de levar satisfação térmica para a casa das pessoas de forma barata e sustentável.

1.3.2 Objetivos Específicos

No que tange aos objetivos específicos do trabalho podemos citar:

- Propor uma solução para aproveitamento da radiação solar;
- Apresentar o que já existe de solução para aquecimento residencial;
- Elaborar sistema de calefação aproveitando radiação solar.
- Avaliar viabilidade econômica do projeto;

1.4 Justificativa

A realização deste trabalho mostra-se importante quando observamos a tendência da temperatura nos últimos anos na região Sul do país. Dados de temperaturas médias retiradas da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) mostram a tendência de temperatura ao longo do outono e inverno durante dois anos consecutivos. Estes dados são apresentados na Tab. (1).

Tabela 1– Temperaturas Médias Mínimas durante o outono de inverno de 2013-2014

2013						
	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Tmin (°C)	13,3	10,6	8,7	9,4	10,2	9,9
2014						
	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Tmin (°C)	13,3	10,6	8,7	9,4	10,2	9,9

fonte: autoria própria

Segundo Stoecker e Jones, uma temperatura adequada para o conforto térmico gira em torno de 20 e 26 °C. Observa-se que durante o outono e inverno curitibano a temperatura está 50% abaixo do ideal especificado.

Tendo em mãos as temperaturas baixas apresentadas, é justificável a proposta de um sistema de aquecimento para a cidade de Curitiba.

1.5 Conteúdo ou Etapas do Trabalho

- Fundamentação Teórica: onde serão apresentadas questões acerca do tema do trabalho, tais como breve histórico a respeito de calefação, tipos de aquecedores existentes no mercado, como se pode reverter a energia solar em uso próprio, seja para energia elétrica ou para energia solar. Além da exposição das equações pertinentes ao tema;

- Procedimento metodológico: onde será exposto como será desenvolvido o trabalho;

- Hipóteses: Onde serão apresentados os dados obtidos em tabelas, livros, catálogos, etc, além de dados calculados e/ou estimados.

- Resultados: A partir das equações expostas no item fundamentação e das hipóteses, é possível calcular as variáveis mais importantes do sistema, assim podendo ser discutido os valores obtidos;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Calefação

Segundo Vettorazzi et al (2010), A preocupação com o intenso frio vem desde tempos remotos, existem indícios de que o primeiro sistema de calefação tenha surgido na Coréia do Norte, onde embaixo do piso haviam galpões para se produzir fogueiras de modo a aquecer os ambientes das casas. Em algumas casas era possível encontrar a cozinha num piso inferior, deste modo ao preparar alimentos a casa simultaneamente era aquecida. Este sistema ficou conhecido como Ondol e pode ser exemplificado na fig. (1):

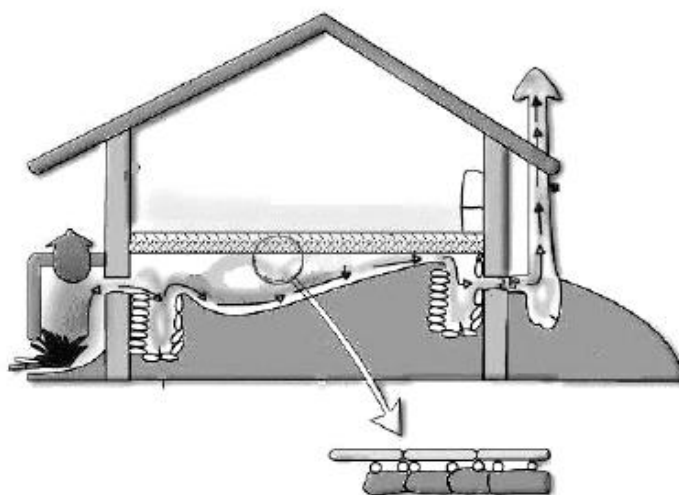


Figura 1 - desenho esquemático do sistema Ondol
Fonte:Vettorazzi, et al (2010)

Segundo Vettorazzi et al (2010), na Roma antiga, na mesma época do Ondol, foram desenvolvidas técnicas de calefação da mesma forma, porém, eram empregados agora não mais somente para aquecimento de pisos, mas também para o aquecimento de água. Eles ficaram conhecidos como caldarium e ipocausto. Ambos os sistemas eram aquecidos através de túneis subterrâneos ligados a uma fornalha. Caldarium é o nome que se dá às piscinas aquecidas enquanto ipocausto se refere ao aquecimento de pisos como se pode ver na fig. (2):

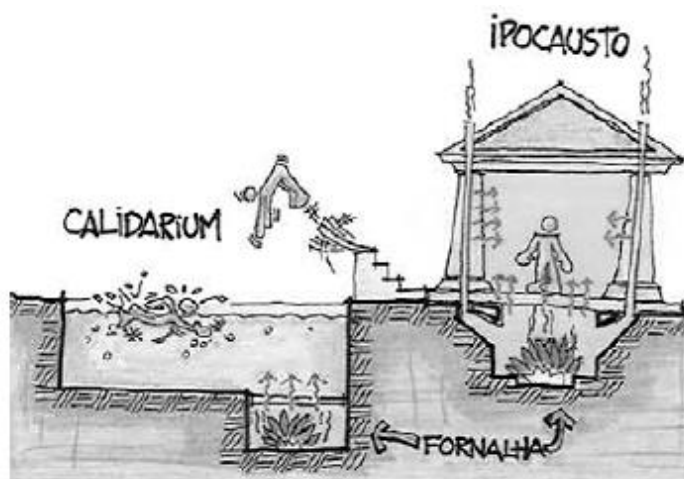


Figura 2 - Desenho esquemático de Calidarium e Ipocausto.
Fonte: Vettorazzi, et al (2010)

Com o passar dos séculos estes sistemas foram evoluindo, demandando menos espaço para a instalação e oferecendo cada vez mais alternativas para o problema de aquecimento em residências.

Apesar de pouco conhecido existem diversas formas de se proporcionar calefação em um ambiente. A forma mais comum atualmente é através de aparelhos elétricos, que através de resistores elétricos irradiam calor para o ambiente. Além de consumir uma considerável energia elétrica não é eficaz para ambientes grandes, ou seja, cobre um pequeno volume em seu funcionamento.

Também é possível utilizar um radiador embutido em uma parede, depositando calor no ambiente de várias formas possíveis. Pode-se contar com uma caldeira externa à casa ou ainda optar por resistores elétricos. O revés deste sistema é a não uniformidade com que o ar quente irá se espalhar, fazendo com que nem todos os lugares estejam aquecidos.

Um terceiro modo de gerar calefação em um ambiente é da maneira clássica, por aquecimento através do piso, uma vez que se consegue cobrir uma área grande do piso, praticamente ele todo estará aquecido uniformemente e como o ar quente tende a subir, deixará todo o ambiente agradável. Este sistema pode contar com a utilização de uma caldeira externa, apresenta sua estrutura com tubos por onde é possível utilizar diversos tipos de fluidos para o aquecimento. A principal desvantagem deste processo é a sua difícil instalação e manutenção. É necessária mão de obra especializada para instalar embaixo do piso todos os tubos e materiais necessários.

E uma vez que se tem algum problema é necessário destruir todo o piso para mexer no sistema.

2.1.1 Aquecedores Elétricos

São os mais usados comercialmente, comumente encontrados em diversas redes de supermercados, dentre outros podemos listar os seguintes tipos de aquecedores:

- *Termoventilador*: Consiste em um conjunto de resistores que aquecem o ar interligado a um ventilador que proporciona uma maior velocidade do fluxo de ar, apesar do uso do ventilador aumentar a eficiência, ele gera muito ruído e resseca o ar;

- *Aquecedor a óleo*: O mais utilizado dentre os aquecedores elétricos, consiste em um conjunto de resistores que aquecem um óleo que circula dentro de serpentinas, produzindo um aquecimento mais eficiente sem ressecar o ar, porém com custo maior de consumo de energia;

- *Aquecedor termocerâmico*: Com o mesmo princípio dos anteriores, o aquecedor termocerâmico produz ar quente através de resistores que aquecem um material cerâmico. Este equipamento aquece o ar de forma mais rápida que os anteriores, porém possui maior consumo de energia;

- *Ar condicionado do tipo quente-frio*: Alguns aparelhos possuem função tanto de resfriamento quanto de aquecimento, porém possuem baixa eficiência para o caso de aquecimento, além de apresentar alto consumo de energia.

2.1.2 Aquecedores com utilização de caldeiras

Alguns sistemas de aquecimento contam com a presença de uma caldeira para aquecimento de um fluido, que passa por encanamentos dentro de paredes até chegar a um radiador embutido na parede que libera o fluxo de calor. Este método não proporciona uma grande eficiência do sistema pois o ar não irá se distribuir uniformemente, além do espaço requerido para suportar uma caldeira para o aquecimento do fluido, em algumas residências, por exemplo, a utilização deste tipo de mecanismo se mostra inviável.

2.1.3 Aquecedores de Piso Radiante

Embora seja a melhor alternativa em termos de eficiência e de consumo energético, o aquecimento através do piso demanda um investimento inicial alto, e é recomendado que seja instalado em residências que estão em construção, pois do contrário será necessário reformular a estrutura da residência.

Este sistema pode contar com a utilização de caldeira, ou com outros tipos de aquecimentos do fluido, bem como energia solar. É possível captar energia solar para aquecimento de um fluido e armazená-lo para aquecer um ambiente, deste modo o consumo energético fica reduzido, optando pelo uso da energia elétrica da rede somente quando o suprimento de energia solar não for suficiente.

2.1.4 Bombas de Calor

Apesar de ar condicionados e refrigeradores serem conhecidos como bombas de calor, este tópico diz respeito a equipamentos utilizados ao aquecimento de ambientes, neste caso, a bomba de calor reproduz um ciclo termodinâmico reverso quando comparado aos anteriores.

Bombas de calor são dispositivos que através de um líquido volátil, realizando algum tipo de trabalho, são capazes de elevar a temperatura de um fluido. O sistema funciona com uma entrada de fluxo a baixa temperatura o convertendo para um fluxo de alta temperatura.

Este tipo de equipamento demanda alto consumo de energia elétrica para permanecer em operação, por isso, é pouco utilizado em residências para aquecimento e é frequentemente visto para o aquecimento de piscinas.

2.1.5 Outros tipos de aquecimento

Ao longo dos anos, por não dispor de grande orçamento e a calefação demandar um custo inicial alto relativamente alto, muitas famílias utilizavam lareiras, fogões a lenha e estufas elétricas para proporcionar conforto térmico em suas residências. (MUSSOI e GOMES, 1997)

2.2 Radiação solar

Grande parte das fontes de energia são ligadas direta ou indiretamente pela energia solar. A radiação solar pode ser utilizada tanto como forma de captação de

energia térmica quanto para geração de energia mecânica ou elétrica. (MOGAWER, 2004)

A radiação solar, ou energia total incidente sobre a superfície terrestre, está diretamente ligada a fatores atmosféricos (umidade, quantidade de nuvens na atmosfera), bem como das localizações geométricas (altitude e latitude) e do horário. Desta forma, a duração do período de radiação solar (enquanto o Sol se encontra acima da linha do horizonte) depende da região estudada. (MOGAWER, 2004).

Grande parte do território brasileiro se encontra próximo a linha do Equador, isto faz com que não exista grandes variações na amplitude solar diária. Para as regiões mais distantes, como o Sul do país, estima-se uma média anual de 11 horas de radiação diária. (MOGAWER, 2004).

Para melhor aproveitamento desta radiação, deve-se ajustar os coletores e painéis solares de acordo com a latitude e período do ano onde se busca maior energia (geralmente nas estações outono e inverno). Como geralmente os painéis ficam fixos no sistema busca-se uma posição ideal para o pior cenário. Deste modo, um bom posicionamento para coletores nos estados sulista é um painel voltado para o norte com inclinação semelhante a latitude do local. (MOGAWER, 2004).

Dentre as formas de utilização da radiação solar, podemos destacar duas: a utilização dos raios solares para transformar energia elétrica (geração fotovoltaica de energia elétrica) e a utilização da radiação para o aquecimento de água. Devido ao clima ameno da região Sul, é visto com maior frequência a utilização da radiação solar para o aquecimento de água e de ambientes, na região Norte por sua vez, pela existência de várias regiões de difícil acesso o aproveitamento da radiação solar é utilizado para a geração de energia. (MOGAWER, 2004)

2.2.1 Energia Fotovoltaica

A conversão de energia solar em energia elétrica se dá por dois possíveis efeitos, termoelétrico ou fotovoltaico. Na primeira situação temos o aparecimento de uma força eletromotriz dada pelo contato entre dois metais. Na segunda situação, tem-se os fótons da radiação solar convertidos em energia elétrica. (MOGAWER, 2004)

A energia fotovoltaica entra na categoria de fontes de energia renováveis pois não emitem substâncias que prejudiquem tanto o ambiente quanto a saúde da população, além disso é uma fonte inesgotável. (SILVA e BRITO, 2006)

Uma célula fotovoltaica é constituída de um diodo (cristal semicondutor de silício ou germânio que possui suas extremidades polarizadas) com grande área, um material semicondutor onde é criado um campo elétrico em seu interior. Ao atingir a célula, a radiação faz com que os elétrons possam se mover dentro do campo elétrico existente no semicondutor, o fluxo de elétrons gera uma corrente elétrica dentro da célula. (SILVA e BRITO, 2006)

O semicondutor utilizado para a fabricação de células é o silício ligado ao carbono, pois é o principal componente utilizado na área de eletrônica, além de ser encontrado em grande quantidade na natureza e o mais relevante, não é um material tóxico, podendo ser manuseado sem oferecer qualquer tipo de risco à saúde. (SILVA e BRITO, 2006)

Cada célula de 100 mm² pode oferecer cerca de 1V (volt) para o sistema, o que muito baixo para qualquer aplicação, então opta-se por utilizar diversas células, de modo a atingir maiores voltagens e conseqüentemente correntes mais elevadas. Por exemplo, em busca de alcançar 12V, utiliza-se de 28 a 36 células. (SILVA e BRITO, 2006)

(RÜTHER, 2004) A alimentação de energia não é feita de modo contínua, pois nos períodos noturnos ter-se-á uma radiação nula de energia solar, logo medidas devem ser tomadas para suprir a energia quando somente a solar não for suficiente. Uma opção é ter conectada ao sistema uma fonte de energia comercial, deste modo, ao cair o suprimento da energia renovável automaticamente será acionada a energia convencional. Uma segunda opção é a “estocagem” de energia, com a utilização de baterias eletroquímicas, este método não se torna usual pela baixa capacidade de armazenamento das baterias, seus preços de aquisição, não oferece local de descarte adequado definido e possui um preço elevado. A fig. 3 ilustra estas situações, com armazenamento de energia (caso a) e com a utilização de energia elétrica externa (caso b).

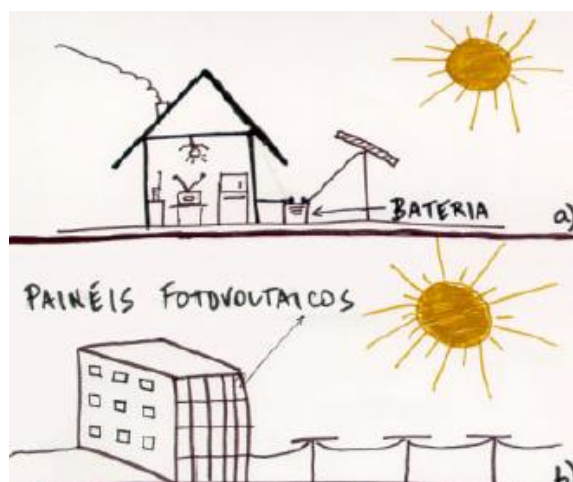


Figura 3 - Exemplo de utilização de painéis fotovoltaicos.

Fonte: Rütther (2004)

Em muitos casos esta fonte de energia é vista com desconfiança, pois seu custo de instalação inicial é relativamente elevado. Segundo (SILVA e BRITO, 2006), painéis elétricos tem uma vida média de 30 anos, e o retorno do investimento da instalação acontece dentro de 3 anos, produzindo uma energia de dez vezes mais o que foi necessário para sua instalação.

Ainda assim, em muitos países encontra-se uma certa resistência à utilização deste tipo de energia. No Brasil, por exemplo, energia solar representa 0,01% da matriz energética brasileira (Ministério de Minas e Energia, 2018) mesmo existindo um incentivo do governo para a utilização de energias renováveis.

A energia criada pelas células pode tanto ser utilizada dentro de residências para iluminação e aparelhos elétricos quanto para aquecimento do ambiente. No aquecimento de água, é possível trabalhar em períodos sem incidência de raios solares, sendo, para isto, se faz necessário o uso de um armazenador térmico, para que o fluido aquecido na recepção dos raios solares se mantenha em uma temperatura elevada para posterior utilização.

Para que seja possível este armazenamento, utiliza-se um material de grande inércia térmica, e guarda-se o fluido aquecido abaixo do solo em um reservatório isolado do ambiente externo para minimizar as perdas térmicas.

Cada vez mais a demanda por energia elétrica é maior, porém a produção pelos métodos convencionais não aumenta, o que futuramente irá causar uma oferta menor que a demanda. Existem muitos conflitos socioambientais quando se fala na criação

de novas usinas hidrelétricas (a mais utilizada dentro do território Brasileiro). Outras fontes de energia como as que tem origem em usinas termonucleares apresentam um tipo de energia onde os recursos utilizados são finitos.

Tendo em vista isso, a necessidade do desenvolvimento de alternativas renováveis e sustentáveis se mostra importante, a energia solar é somente uma das opções disponíveis, podemos contar entre outras fontes ainda com energia eólica (energia obtida através da corrente de ar) e energia obtida através do biogás (matéria orgânica).

2.2.2 Sistemas de Aquecimento

Para o aquecimento de fluidos são utilizados coletores ou concentradores solares. Os coletores são comumente utilizados quando não se requiere temperaturas elevadas, como em aplicações residenciais (higiene pessoal, lavagem de utensílios e aquecimento de ambientes. Os concentradores por sua vez destinam-se a quando é necessário temperaturas elevadas, como secagem de grãos e produção de vapor. (MOGAWER, 2004)

O maior empecilho para a implantação de sistemas de aquecimentos é o alto custo inicial envolvido, principalmente quando se trata de residências de baixa renda, por isso deve-se buscar um sistema com menor custo possível para que este modelo possa atender ao maior número de pessoas (MOGAWER, 2004).

2.2.2.1 Aquecedores de passagem

Este modelo de aquecedores produz água quente instantaneamente, levando a água a temperatura desejada no momento em que é ativado. Um exemplo é o chuveiro elétrico, que entrega água quente no momento em que o registro é acionado. (CALZA, 2014)

Este sistema apresenta vantagem por não necessitar de um reservatório para armazenar o fluido quente e possuir menor consumo de energia, porém possui limitações no que diz respeito a utilização em vários pontos. (CALZA, 2014).

2.2.2.2 Aquecedores de acumulação

Este modelo possibilita o armazenamento do fluido para que este possa ser utilizado em vários pontos a qualquer momento. Este sistema é constituído de um

reservatório e uma fonte de aquecimento. O papel do reservatório é manter o líquido quente durante o período de utilização reduzindo as perdas de calor. Para isto existe a possibilidade de controladores de temperatura auxiliares que são ativados conforme a temperatura interna do reservatório caia. (CALZA, 2014)

2.2.2.3 Aquecimento Solar

Um sistema de aquecimento solar é composto por um conjunto de placas coletoras, um reservatório, uma fonte de energia alternativa e um sistema de tubulação para distribuição do fluido aquecido. O reservatório se faz necessário quando se observa que a demanda de aquecimento não ocorre somente quando existe a incidência de raios solares. (LIMA, 2003)

Pode-se classificar o tipo de aquecimento como direto (o fluido aquecido é o utilizado) ou indireto (o fluido aquecido é utilizado para aquecer outro fluido). Outra classificação para o tipo de aquecimento é passivo ou ativo. O passivo ocorre quando a densidade faz com que o fluido circule enquanto no ativo é utilizado um sistema de bombeamento. (LIMA, 2003)

No sistema passivo, (mostrado na fig. 4) também conhecido como sistema de termosifão, a água circula naturalmente entre tubos e reservatório. Isto deve-se ao fato da água nos coletores se tornar menos densa que a água no reservatório quando quente, deste modo, a água fria “empurra” a água quente gerando a circulação do fluido. (CALZA, 2014)

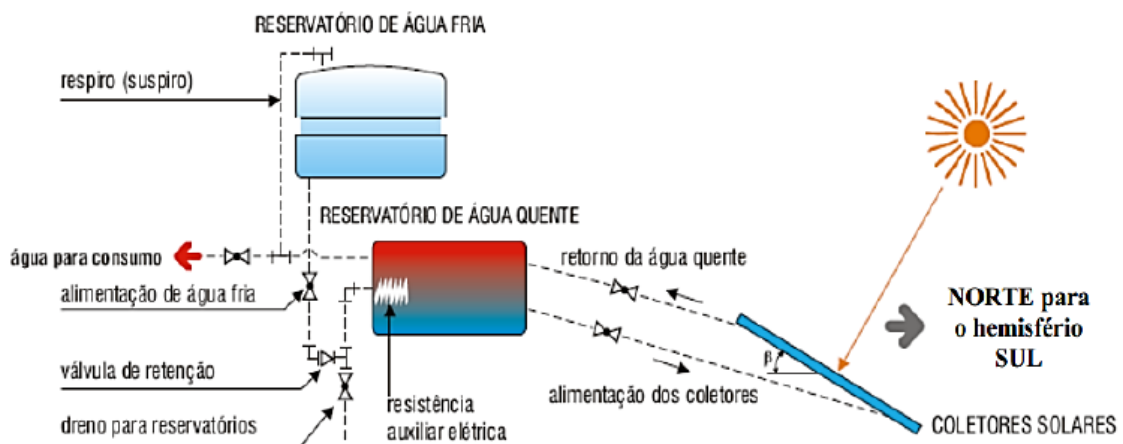


Figura 4 - Sistema passivo direto

Fonte: Calza, 2014

Devido a simplicidade do sistema e do Brasil apresentar um clima tropical este é modelo mais comum no país. Para que se torne possível a utilização deste o reservatório deve estar localizado acima dos coletores e a distância percorrida pela água aquecida deve ser minimizada o quanto for possível para evitar grandes perdas de calor. (CALZA, 2014)

O sistema se mostra menos eficaz quando a temperatura do boiler é semelhante a temperatura do coletor, reduzindo a quantidade de energia adquirida. (CALZA, 2014).

No sistema ativo (conforme fig. 5), também conhecido como circulação forçada, existe a utilização de uma bomba hidráulica para circulação entre reservatório e coletores. A bomba é ativada por termostatos localizados nas tubulações de entrada e saída dos coletores. A bomba é ativada de acordo com uma diferença de temperatura na entrada e saída dos coletores que é pré-estabelecida pelo usuário. Ao minimizar a diferença de temperatura a bomba é desativada. (CALZA, 2014)

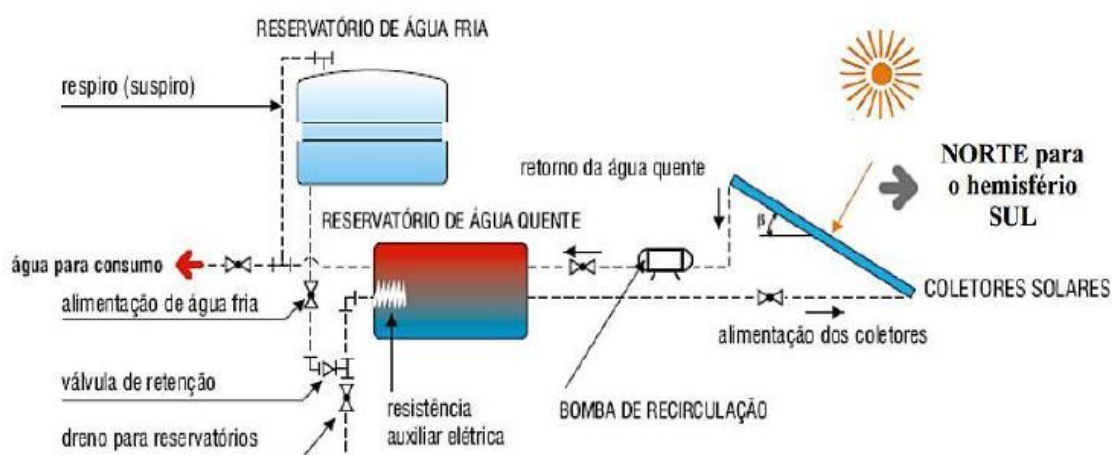


Figura 5 - Sistema ativo

Fonte: Calza, 2014

As bombas utilizadas neste sistema são bombas centrífugas, com rotores fabricados com materiais que suportem a temperatura do fluido que circulará nas tubulações. A escolha da bomba também depende da vazão desejada bem como da perda de carga envolvida. (CALZA, 2014)

O sistema é recomendado para edificações onde exista a necessidade de mais de 1500 litros de fluido para aquecimento e oferece maior eficiência em relação ao primeiro, podendo ser utilizado em diferentes configurações, por exemplo, o reservatório pode estar abaixo das placas coletoras. Entretanto, o custo deste sistema pode ser elevado devido ao maior número de componentes envolvidos. (CALZA, 2014).

2.2.2.4 Coletores Solares

A escolha do coletor está diretamente ligada a temperatura desejada bem como a aplicação de cada um. Para a absorção da radiação solar pode-se optar por dois tipos de coletores: Planos (Fig. 6) e de foco (Fig. 7). O primeiro é utilizado para temperaturas inferiores a 93°C , possui uma maior facilidade de manuseio, custo menor, sem partes móveis e boa durabilidade. O último utiliza lentes grandes para refletir em um absorvedor pequeno, proporcionando um aumento grande de temperatura em menos tempo, é recomendável que se utilize para atingir temperaturas de até 150° , porém é necessário que ele sempre esteja se movendo junto com o Sol para melhor aproveitamento. (ARRUDA, 2004).



Figura 6 - Desenho de coletor plano

Fonte: Arruda, 2004

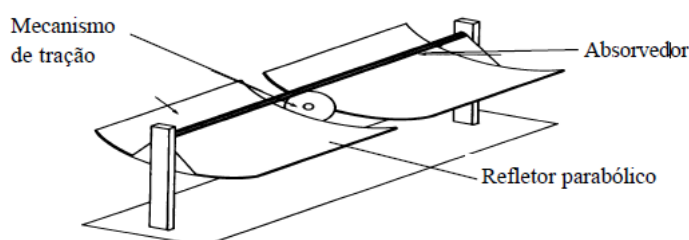


Figura 7 - desenho de coletor de foco

Fonte: Arruda, 2004

O coletor solar plano é amplamente utilizado em residências, condomínios, hotéis e hospitais. Ele é fabricado com uma caixa metálica constituída por uma placa absorvedora, tubulações por onde o fluido aquecido passará, um material isolante térmico e cobertura. A placa absorvedora é que realiza a conversão da energia em calor. As placas e tubulações geralmente são de cobre por se tratar de um material com alta condutividade. A cobertura superior é constituída de vidro transparente, fechando a caixa e formando um espaço de ar por onde ficam os tubos. (CALZA, 2014).

Uma tecnologia nova que vem ganhando espaço é a utilização de coletores de tubo a vácuo. Estes coletores minimizam a transferência de calor por convecção e condução deixando a superfície absorvedora praticamente em estado de vácuo. Estes coletores se apresentam em quatro diferentes configurações: transferência direta, chapa com tubo em U, tubo metálico concêntrico e tubo de calor. (CALZA, 2014).

Na transferência direta (fig. 8), a água entra em contato com o tubo interno do coletor, desta forma o tubo aquece a água fazendo com que ela chegue ao reservatório. Por ser o mais simples e barato é o sistema melhor visto, porém se um tubo falhar todo o sistema fica comprometido.

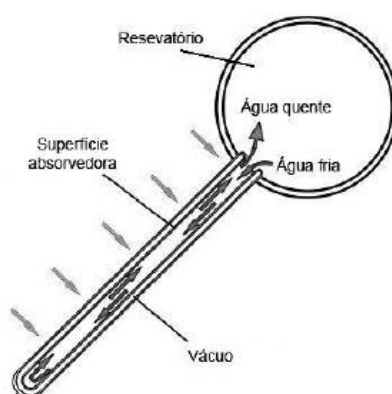


Figura 8 - Sistema de Transferência direta
Fonte: Calza, 2014

No sistema por chapa em U (fig. 9), um tubo de cobre em forma de U com uma aleta circular são montados no interior do tubo a vácuo. O fluido frio chega em uma das extremidades do tubo, absorve energia e sai aquecido pela outra extremidade do

tubo. Estas extremidades são conectadas em tubulações distintas envolvidas por um isolante térmico. Esta configuração obrigatoriamente deve ser utilizada em sistemas ativos.

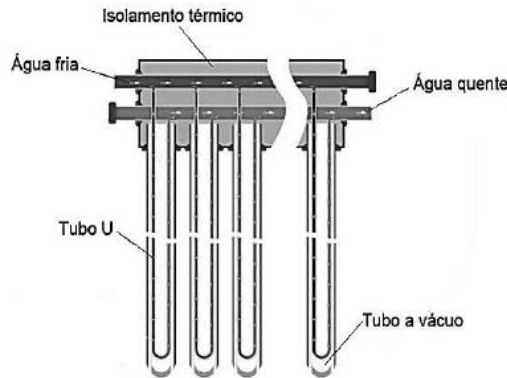


Figura 9 - Sistema com chapa em tubo U

Fonte: Calza, 2014

O sistema de tubo metálico concêntrico é o modelo mais comum, constituído de dois tubos concêntricos de vidro e parede dupla. A parede interna contém revestimento de nitrato de alumínio e entre os tubos há um isolamento a vácuo, de modo a minimizar as perdas de energia. (CALZA, 2014).

O sistema de tubo de calor (fig. 10) consiste em um tubo de cobre inserido num tubo a vácuo. O tubo de cobre contém um fluido com temperatura de ebulição baixa, que passa por um ciclo de evaporação/condensação. Ao evaporar, o fluido (que passa a ser vapor) desloca-se para a parte superior do coletor onde transfere a energia para a água que está circulando. Ao ser resfriado, o vapor volta a ser líquido e regressa a parte inferior pelo efeito da gravidade reiniciando o ciclo. Este modelo se torna vantajoso pela rápida resposta a radiação solar, entretanto apresenta custo elevado comparado aos demais sistemas.

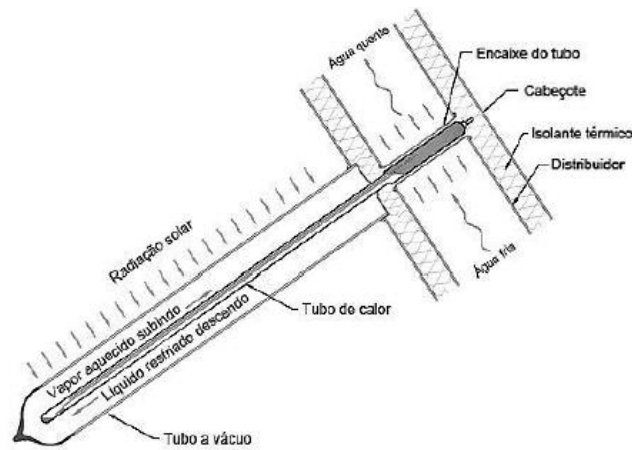


Figura 10 - Sistema de tubo de calor
Fonte: Calza, 2014

2.2.2.5 Reservatório

O reservatório é o equipamento responsável por armazenar a água aquecida. Um reservatório bem isolado é essencial para o sistema, uma vez que será necessário estocar uma boa quantidade de água aquecida por um bom período de tempo. O calor recebido por este reservatório pode ser originário tanto da radiação solar quanto de uma fonte de energia auxiliar, o calor perdido pelo mesmo deve-se as perdas naturais para o ambiente. (ARRUDA, 2004)

O reservatório é escolhido de acordo com a pressão de trabalho, podendo ser do tipo fechado (pressurizado) ou aberto (não pressurizado), tendo capacidade para garantir a demanda diária de água quente. (CALZA, 2014).

O reservatório fechado trabalha com pressões acima da atmosférica sendo pressurizado por uma caixa d'água que esteja num nível maior que o do reservatório. O aberto trabalha na pressão atmosférica sendo alimentada pela caixa d'água ou por outra forma. Caso a demanda de água seja elevada, é recomendado o uso de mais de um reservatório. Os reservatórios podem ser verticais ou horizontais, nos verticais, a água encontra equilíbrio térmico de forma mais rápida enquanto que no segundo caso o equilíbrio é atingido de forma mais lenta. A fig. 11 apresenta o modelo de um reservatório térmico. (CALZA, 2014).

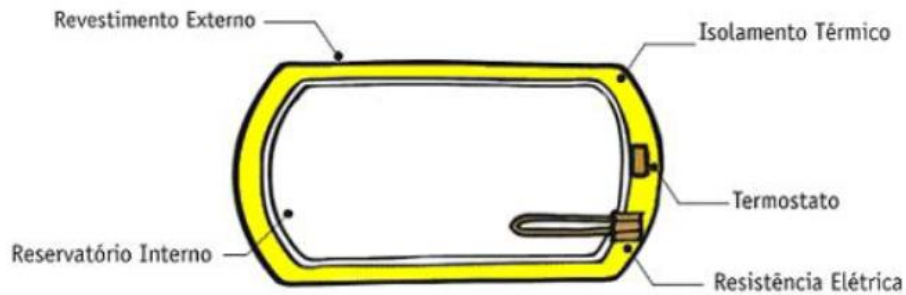


Figura 11 - Reservatório térmico.

Fonte: Calza, 2014

2.2.2.6 Tubulações

Segundo ABRAVA (2008), as tubulações nos sistemas de aquecimento são constituídas de cobre, aço galvanizado ou outro material que suporte pressões e temperaturas do sistema. Por se tratar de materiais metálicos de alta condutividade, a tubulação necessita de isolamento térmica para que as perdas de calor sejam as menores possíveis. (CALZA, 2014).

Os materiais mais utilizados para o isolamento térmico são o cloreto de polivinila clorado (CPVC) e o polipropileno copolímero random (PPR). Estes possuem baixo custo e facilidade de instalação. (CALZA, 2014).

2.2.2.7 Sistema auxiliar de aquecimento

Caso a demanda de água quente seja baixa e o fluido permanecer por um longo período de tempo no reservatório, este irá perder calor para o ambiente. Neste caso, a utilização de um sistema auxiliar de aquecimento se faz necessário, o mesmo ocorre em dias de baixa insolação e quando não se dispõe de um sistema superdimensionado (dimensionado para o caso crítico, onde o custo de instalação se torna elevado). A fonte auxiliar de energia pode ser proveniente de energia elétrica, a gás ou gerada por bomba de calor, estando localizada interna ou externamente ao reservatório. (CALZA, 2014).

Para fontes auxiliares internas a forma mais recomendada é a de resistência elétrica, enquanto que para fontes externas o método mais empregado é a de aquecedor a gás. (CALZA, 2014).

2.3 Variáveis de um sistema de calefação

Durante a escolha dos parâmetros de projeto deve-se considerar se será utilizado um grande número de placas (superdimensionado) ou se irá ser utilizadas um pequeno número de placas. O primeiro caso considera a pior situação possível com dias muito nublados e grande utilização durante períodos noturnos por parte das pessoas. O segundo caso considera uma situação em que se trabalha com uma ideia fixa de calor necessário ou ainda com a impossibilidade de se instalar muitos coletores. (LIMA, 2003).

Para o segundo caso, é preciso ter uma garantia para que a água sempre se mantenha na temperatura adequada, desta forma, é necessário a utilização de uma fonte de energia auxiliar, para manter o fluido na temperatura adequada. Esta fonte pode ser elétrica, a gás ou ainda em forma de bomba de calor. Além disso existe a possibilidade desta fonte estar dentro ou fora do reservatório. (LIMA, 2003)

No dimensionamento de um sistema de aquecimento, variáveis como geometria do ambiente, localização, temperatura de bulbo seco (temperatura medida com termômetro comum) e temperatura de bulbo úmido (menor temperatura possível na evaporação) devem ser levadas em consideração. Para o atual trabalho, será considerada uma área térrea do ambiente de 90 m², localizada na região metropolitana de Curitiba, com temperaturas de bulbo seco e úmido de 3 e 23°C respectivamente (STOECKER e JONES, 1985). A temperatura interna de referência a ser adotada será próxima à de bulbo úmido, tendo em vista que se encontra dentro da faixa de conforto térmico.

Tendo em mãos a temperatura necessária do fluido, calcula-se a quantidade de calor necessária e o tamanho dos coletores necessários para a montagem do sistema. (MOGAWER, 2004) apresenta as formulações necessárias para este fim, primeiramente deve-se utilizar a equação (1) para encontrar a quantidade de calor (Q) que a radiação deve transferir para a água.

$$Q = m.c.(t_f - t_i) \quad (1)$$

Onde Q é a quantidade de calor necessária para aquecer a água, m é a massa de água aquecida, c o calor específico da água, t_f a temperatura final e t_i a temperatura inicial da água.

Tendo em mãos a quantidade de calor necessária, calcula-se a área total (S) dos coletores com a equação (2)

$$S = \frac{Q}{I \cdot \eta} \quad (2)$$

Onde I é o índice de radiação solar e η a eficiência do coletor.

Após a definição das temperaturas, quantidade de energia absorvida e quantidade de coletores necessários, parte-se para a região interna da residência. Para isto, determina-se os coeficientes de transferência de calor para os tubos que estarão abaixo do solo, e para o próprio solo, deste modo, ter-se-á uma resistência equivalente para as diferentes camadas onde o calor é transferido. (INCROPERA et al, 2014) O coeficiente de transferência de calor pode ser encontrado através das propriedades de escoamento do fluido e do próprio fluido. Após definida uma velocidade máxima para o escoamento, calcula-se o número de Reynolds deste através da equação (3):

$$Re = \rho \cdot v \cdot X / \mu \quad (3)$$

Onde ρ é a massa específica do fluido, v a velocidade máxima, X o comprimento ou diâmetro por onde ocorre o escoamento e μ a viscosidade dinâmica do fluido.

Tendo em mãos o número de Reynolds é possível calcular o número de Nusselt (Nu) através de correlações (para cada tipo de escoamento e situação existe uma correlação que pode ser encontrada na literatura pertinente à transferência de calor). Neste caso, considera-se temperatura constante na superfície dos tubos e um escoamento laminar. Através do número de Nusselt chega-se ao coeficiente convectivo h utilizando a equação (4):

$$h = Nu \cdot k / D \quad (4)$$

Onde k é a condutividade térmica do material e D o diâmetro da tubulação.

Tendo em mãos os valores dos coeficientes de transferência de calor, e considerando que o sistema de tubulações abaixo do solo se comporta como uma parede plana, é possível calcular a resistência térmica total (para convecção e condução) através da equação (5):

$$1/R = 1/h_1 + L/k_1 + \dots + 1/h_n + L/k_n \quad (5)$$

É necessário realizar uma estimativa das perdas de calor do ambiente, estas perdas são originadas da superfície do solo e de fatores externos ao ambiente, como

por exemplo, correntes de ar. Para o caso do solo, pode-se determinar a perda de calor com a equação (6):

$$q_{solo} = P \cdot (T_e - T_i) \quad (6)$$

Onde P é o perímetro da superfície que perde calor. Para o caso de ventilação, a perda de calor é dada pela equação (7):

$$q_{ar} = 1,23 \cdot Q \cdot (T_e - T_i) \quad (7)$$

Onde Q é a vazão da corrente de ar, dada em L/s.

Tendo em mãos as perdas e o fornecimento de calor, pode-se calcular a carga térmica resultante do ambiente com a equação (8), esta é dada por um balanço de energia:

$$q_{resul} = q_{forn} - q_{perd} + q_{ger} \quad (8)$$

Onde q_{ger} é o calor radiado por pessoas e equipamentos dentro do ambiente, que por ser muito inferior aos outros dois fatores será considerando desprezível no momento dos cálculos.

Por fim, é possível determinar a temperatura interna do ambiente com a equação (9):

$$q_{resul} = A \cdot \frac{T_e - T_i}{R} \quad (9)$$

Onde T_e é a temperatura externa, T_i a temperatura interna, e A, a área superficial normal ao escoamento.

A partir das formulações apresentadas é possível apresentar parâmetros de projetos para o sistema de piso radiante, tais como a capacidade térmica que o sistema deve apresentar, as perdas térmicas no ambiente e no solo e as temperaturas através das camadas desde o fluido até a superfície do ambiente.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Descrição da Metodologia

A partir dos fundamentos apresentados anteriormente, calculou-se os dados necessários para a proposta do projeto de calefação. Dentre esses dados podemos destacar tanto os parâmetros internos (como vai se dar o aquecimento no interior da casa), quanto os parâmetros externos (Quantas placas serão necessárias para aquecer adequadamente o ambiente)

3.2 Justificativa da Metodologia

A metodologia escolhida para o projeto (que se baseia em uma grande revisão bibliográfica) se faz necessária quando se vê na necessidade de coletar informações para a realização do projeto.

Por se tratar de um trabalho teórico, não se realiza uma metodologia com materiais e métodos experimentais, por isso tem-se somente as teorias mais pertinentes para a realização da proposta.

3.3 Produtos do projeto

O principal produto do trabalho é uma proposta teórica de um sistema de calefação onde o aquecimento é realizado através de uma fonte renovável. Também apresentando um comparativo deste produto com o que já se encontra no mercado de modo a visualizar a viabilidade econômica de implantá-lo.

O segundo resultado se trata da monografia, que poderá ser utilizada para consulta e pesquisa, buscando esclarecer dúvidas futuras de estudantes que buscam uma base teórica.

4 HIPÓTESES

O sistema a ser utilizado é o de aquecimento de água com placas coletoras e piso radiante. Para isto será necessário um conjunto de placas coletoras, um reservatório térmico, e tubulações de cobre para o piso. Além disso, para minimizar os custos, o projeto será realizado durante a construção de residências, do contrário, teriam que ser considerados os custos referentes a toda parte de alvenaria com a reforma da casa.

Serão utilizados coletores planos, por se trabalhar com temperaturas relativamente baixas de aquecimento. Além disso, este modelo apresenta baixo custo e boa durabilidade. Os coletores utilizados apresentam eficiência no valor de 0,5.

O reservatório será do tipo fechado, que ficará localizado abaixo do nível da caixa d'água, deste modo será possível atingir pressões acima da pressão atmosférica. Quanto a sua posição será vertical, de forma a proporcionar equilíbrio térmico de forma mais rápida.

Como o fluido aquecido (água) será o mesmo a ser utilizado para aquecimento dos ambientes, o aquecimento será caracterizado como direto, e por já estar com pressões acima da atmosférica não será utilizado um sistema de bombeamento, desta forma o fluxo será caracterizado como passivo (a densidade irá promover o movimento do fluido).

Tanto os tubos absorvedores nas placas coletoras quanto a tubulação abaixo do solo serão de cobre (por sua alta condutividade térmica) com diâmetro de 1/2 polegada. Para o caso da água não se manter na temperatura desejada será utilizada uma resistência elétrica de 2000W para agir como forma auxiliar de aquecimento. A manta de isolamento será feita com PPR pelo seu baixo custo e fácil instalação.

De modo a reduzir o custo com placas coletoras, o sistema não será superdimensionado (o que justifica o uso de um sistema auxiliar de aquecimento), desta forma, o número de placas não será elevado, para que residências com restrição de espaço possam ser atendidas.

Como o trabalho diz respeito a região metropolitana de Curitiba, as placas devem ser posicionadas de forma a absorver o máximo de radiação possível. Neste caso, como as placas estarão fixas, deve-se posicionar as placas para o pior cenário

(inverno). Desta forma as placas coletoras ficarão direcionadas para o Norte geográfico, como inclinação igual a latitude da cidade (25°).

Considerar-se-á uma temperatura desejada de aquecimento de 26°C (o máximo dentro da faixa de conforto térmico, considerando que durante o percurso existirão perdas). Na época mais amena do ano, apesar das temperaturas médias mensais estarem entre as temperaturas de $8,7$ e $13,3$ graus Celsius, a temperatura da região metropolitana de Curitiba pode chegar a 3°C , logo esta será a temperatura inicial adotada para a água.

Quanto as propriedades da água serão consideradas as propriedades a temperatura ambiente. Neste caso, a massa específica da água será 1000 kg/m^3 , viscosidade dinâmica igual a $0,1 \text{ kg/m.s}$, condutividade térmica de $0,6 \text{ W/m.K}$ e calor específico igual a $4,186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

Foi considerada uma residência com dimensões $6 \times 15 \text{ m}$. Assim, será considerado um perímetro de 42 m e área de 90 m^2 (média de área das residências Curitibaanas). A fig. 12 mostra um esboço da planta baixa da residência com a tubulação onde passará o fluxo aquecido. Desta forma estima-se um comprimento total dos tubos de 160 m . Obtém-se então, um volume aproximado das tubulações de $0,02 \text{ m}^3$.

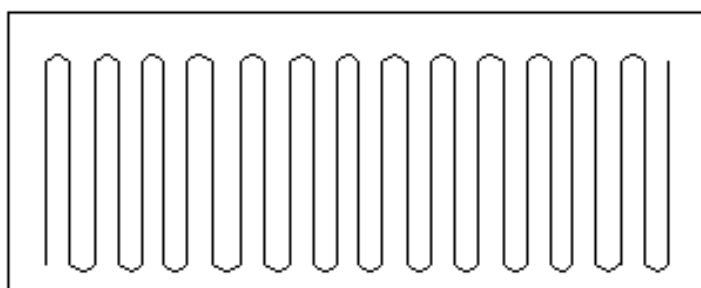


Figura 12 - Esboço da planta baixa com serpentina de cobre
Fonte: Própria

Para este volume, a quantidade necessária de água é de 20 L . Para ter uma quantidade maior de fluido no reservatório e ter uma circulação constante será adotado uma quantidade de 40 L de água e reservatório com capacidade de 50 L .

No que diz respeito as tubulações, o diâmetro escolhido tanto para a tubulação da residência quanto para a dos coletores já foi definido como meia polegada. Segundo

a NBR 5626-98, a velocidade máxima nessas tubulações deve ser de 3 m/s, desta forma a faixa de velocidade adotada será de 2 m/s (estimativa para os cálculos, uma vez que a pressão dentro do reservatório irá impor a velocidade).

Dados do atlas solarimétrico do Brasil aponta como menor índice de radiação no Paraná de 2222 Wh/m².dia (principalmente no inverno quando há a presença de muitos dias nublados e chuvosos). Será adotado este valor por simular o pior cenário de radiação.

Com estes valores, será possível realizar uma estimativa para parâmetros de transferência de calor dentro do ambiente, bem como estimar o espaço requerido para a instalação de coletores solares. Os valores obtidos serão expostos no próximo capítulo.

5 RESULTADOS

Inicialmente parte-se para os cálculos referentes as transmissões térmicas. Desta forma chegamos a (Tab. 2).

Tabela 2 - Número de Reynolds, Nusselt e coeficiente de transferência de calor da água

Parâmetros calculados	Resultados
Reynolds	254
Nusselt	3,66
h água	0,87 W/(m ² .K)

Fonte: Própria

O número de Reynolds é característico de um escoamento laminar, desta forma, para o tipo de escoamento (interno), considera-se Nusselt constante de 3,66 (INCROPERA et al), a partir destas informações é possível obter o coeficiente de transferência de calor da água no valor de 0,87 W/(m².K).

O próximo passo é calcular a resistência térmica total do sistema, levando em consideração a hipótese de que a superfície do tubo e o concreto se comportarão como paredes planas para simplificação do sistema, tem-se uma interface interna com o fluido (água), duas internas (paredes das tubulações e concreto) e o ambiente externo (dentro da casa), conforme a fig. 13.



Figura 13 - Resistências térmicas dos fluidos e paredes

Fonte: Própria

Neste caso, a condutividade térmica do concreto é avaliada em 2 W/m.K, a condutividade com espessura de 0,05m . A condutividade térmica do cobre é avaliada em 401 W/m.K com espessura de 0,00079m. O coeficiente de transferência de calor do ar é estimado em 5 W/(m².K).

A (tab. 3) apresenta o valor encontrado para a resistência térmica bem como a carga térmica resultante do sistema (equação 9), e os valores das perdas de calor para o ar (equação 7) e para o solo (equação 6).

Tabela 3 - Calor resultante, e perdas para o ar e solo

Parâmetros calculados	Resultados
R	0,73 W/(m ² .K)
Q	369,86 J
Q _{ar}	0,01 J
Q _{solo}	126,00 J

Fonte: Própria

Tendo a tabela 3 em mãos é possível encontrar a energia fornecida para o ambiente através da equação 8. O valor total fornecido ao ambiente pelo sistema de calefação foi avaliado em 495,87J. Este valor deve ser entregue pelo sistema com coletores de radiação solar.

Utilizando as equações apresentadas na seção 2 bem como as hipóteses apresentadas é possível encontrar um valor para a carga térmica necessária para aquecer 40 L de água bem como já encontrar a área de coletores necessária para este aquecimento. Os resultados são apresentados na (Tab. 4).

Tabela 4 - Parâmetros de Calor e Área de Coletores

Parâmetros calculados	Resultados
Q coletores	3851,12 (J)
S	3,47 (m ²)

Fonte: Própria

A energia necessária para aquecimento da água obtida foi de 3851,12 J, energia superior a requerida no sistema de aquecimento, atendendo, desta forma, os requisitos do projeto. A área necessária para os coletores obtida foi de 3,47 m².

Desta forma (utilizando catálogo Heliotek para coletores solares), serão utilizadas duas placas placa coletoras MC Evolution Pro 20 Heliotek de 2m² cada, no valor de R\$999,90 a unidade. O reservatório de 50L escolhido (através de catálogo Acquatec

reservatórios térmicos) foi Boiler Solar ACQUATEC no valor de R\$1090. O reservatório conta com resistência para aquecimento auxiliar e termostatos embutidos.

Considerando área útil de absorção de 4m², a temperatura de aquecimento irá sofrer alteração de 26 para aproximadamente 30°C. Para manter a temperatura dentro da área de conforto térmico será realizado o uso de termostatos para monitorar a temperatura da água e realizar a ativação e desativação do sistema.

A cotação para as serpentinas de cobre para o fluxo de água abaixo do solo resultou no valor de R\$17,50 o metro. Desta forma, o custo para 160m de tubulação fica avaliado em R\$2800,00. As mantas térmicas usadas para o isolamento das tubulações abaixo do contrapiso foram orçadas com uma média de R\$1900,00 nos principais fornecedores.

No que diz respeito ao custo de manutenção de todo o sistema, pode se dizer que é desprezível para o cálculo do investimento, isto se dá pelo fato da rara necessidade de manutenção nestes modelos. Há disponível no mercado, ferramentas que podem avaliar numa pequena área (através de ondas) o funcionamento do piso radiante. Apesar disto, algo que deve ser feito semestralmente para não afetar a eficiência das placas condutoras é a limpeza destas, de forma a eliminar quaisquer partículas ou poeiras.

Após instalado, o custo que o sistema pode oferecer é o da utilização da resistência auxiliar. O reservatório é capaz de manter a água aquecida por um longo período de tempo, porém, levando em conta o acionamento da resistência auxiliar durante 1 hora a cada dois dias, consumindo 2000W pode gerar um custo de R\$24,00 ao mês considerando o preço do KW.h de R\$0,80 (Companhia Paranaense de Energia, 2018).

Ao total, a instalação de um piso radiante dentro de uma residência curitibana de 90 metros quadrados, antes de sua construção, gira em torno de R\$8000. Este investimento a curto prazo se torna inviável para muitas famílias, mas a longo prazo este valor pode ser visto como um investimento.

Ao comparar este sistema com outros equipamentos de aquecimento citados na literatura, percebemos que apesar de seu alto custo inicial de instalação, a escolha dele se justifica pelo baixo custo para mantê-lo em funcionamento. A (tab. 5) apresenta

os valores de consumo para outros equipamentos utilizados para proporcionar conforto térmico.

Tabela 5 - Custo mensal por equipamento

Equipamento	Potencia (kW)	Uso diário (h)	Custo mensal (R\$)
Bomba de Calor	8	12	2304,00
Termo ventilador	2	12	576,00
Aquecedor a óleo	1,5	12	432,00
Aquecedor termocerâmico	1,4	12	403,20
Ar condicionado quente/frio	0,814	12	234,40

Fonte: Própria

A tabela foi construída considerando que os equipamentos fornecem conforto térmico durante 12 horas por dia durante 30 dias por mês, com o custo de KW.h já informado de R\$0,80. Observa-se que o equipamento mais barato (ar condicionado quente e frio) fornece acréscimos na conta de energia excedente ao que pode ser gasto com o sistema de aquecimento auxiliar de aquecimento.

Além do fator custo, vale ressaltar que o piso radiante fornece aquecimento de forma uniforme em todos os ambientes do domicílio enquanto que estes equipamentos elétricos geram conforto térmico em espaços restritos da residência, o que torna o sistema de calefação ainda mais atraente.

Quando comparado com o sistema de aquecimento de fluidos por caldeira, o modelo de calefação com placas solares ainda se mostra competitivo, uma vez que muitas residências apresentam restrição de espaço para a caldeira. Existe alta demanda de manutenção e pode oferecer risco a segurança caso venha a falhar. Além disso, utiliza-se de um combustível externo (gás) para seu funcionamento, acarretando num custo mensal próximo ao de um ar condicionado quente e frio. O sistema de caldeiras ainda conta com um custo inicial para adquirir os equipamentos e com sua instalação.

6 CONCLUSÕES

Enxerga-se grande necessidade de um sistema de aquecimento residencial principalmente para a região Sul do país. O maior empecilho para a utilização deste recurso é o investimento financeiro ou custo mensal com energia elétrica.

Os aparelhos disponíveis no mercado não demandam um alto investimento inicial, entretanto, não proporcionam conforto térmico uniformemente em todos os cômodos e gastam uma quantidade de energia elétrica alta para geração de calor.

A bomba de calor seria uma alternativa interessante por possibilitar um aquecimento abaixo do solo, porém apresenta consumo de energia elétrica próximo ao de aparelhos convencionais deste setor.

Apesar do alto custo inicial, a calefação por aproveitamento da energia solar se mostra eficaz tanto na capacidade de aquecimento, quanto nos aspectos econômicos. Por se aproveitar da radiação solar e possuir baixa frequência de manutenção, o custo mensal com este sistema é praticamente nulo.

O valor total de aquisição deste modelo equivale a pouco mais que um ano de uso do termo ventilador enquanto que para amortizar o gasto com a utilização de um ar condicionado o tempo passa a ser de até 3 anos.

Apesar de parecer um período grande para se pagar pelo equipamento, deve-se considerar sua vida útil e o tempo de economia de energia elétrica. Um painel solar pode durar em média de 25 a 30 anos. Considerando para o caso de menor período, e levando 3 anos para pagar o uso de alternativas comuns (ar condicionado), o usuário ainda contaria com 22 anos de uso do equipamento, ganhando conforto térmico por toda a extensão da residência e pagando em média R\$30,00 mensais devido ao aquecimento auxiliar.

Uma alternativa para a elaboração de sistemas populares é avaliar materiais de baixo custo que possam substituir os utilizados nas placas, de forma a avaliar a possibilidade de construir os próprios painéis solares e sistemas de tubulações. Seguindo neste pensamento, o projeto de um Boiler também se mostra interessante no que diz respeito à redução de custos.

Após a implementação do sistema de calefação, existe a possibilidade de um projeto paralelo, aproveitando a água aquecida para uso diário (higiene pessoal e limpeza de utensílios). Para este segundo projeto, é requerida a reavaliação dos parâmetros, de forma que o uso contínuo dos dois sistemas não seja comprometido. Neste caso, um maior número de placas e reservatório de maior capacidade deverá ser considerado.

7 REFERÊNCIAS

- ACQUATEC. **Boilers térmicos**. São Paulo, 2017.
- ALMEIDA, Eliane et al. **Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica**. Belo Horizonte, 2016.
- ARRUDA, Laerte Bernardes. **Operação de Sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos**. São Paulo, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626-98 Instalação predial de água fria**. São Paulo, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Projetando uma instalação de aquecimento solar passo a passo**. Curitiba, 2008.
- ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. Recife: Banco de Dados Solarimétricos, 2000.
- BOSCH GROUP. **Geradoras de água quente**. São Paulo, 2017.
- BORGES, Thomaz. **Síntese otimizada de sistemas de aquecimento solar de água**. Campinas, 2000.
- CALZA, Lana Ferreira. **Análise técnico-econômica da implantação de um sistema de aquecimento solar para suprir a demanda de água quente dos vestiários de um frigorífico localizado na região oeste do Paraná**. Cascavel, 2014.
- CARVALHO, Francisco Ivanhoel; ABREU, Mônica Cavalcante Sá de; NETO, Jocildo Figueiredo Correia. **Financial alternatives to enable distributed microgeneration projects with photovoltaic solar power**. São Paulo, 2017
- COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Tarifas por KW.h**. Curitiba, 2018. Acesso: 30 de maio de 2018, em <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F3a5cb971ca23bf503257488005939ba>.
- HELIOTEK BOSCH GROUP. **Coletores solares**. São Paulo, 2017
- INCROPERA, Fank P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos: Atlas brasileiro de energia Solar, 2017.

LIMA, Juliana Benoni Arruda. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** São Paulo, 2003.

MENDONÇA, Francisco; DUBREUIL, Vincent. **Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC.** Curitiba, 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.** Brasília, 2017. Acesso: 27 de Abril de 2017, em <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/boletins-2017>.

MOGAWER, Tamer. **Sistema Solar de aquecimento de água para residências populares.** São Paulo, 2004.

MUSSOI, Marcelo Menna Barreto; GOMES, Luiz Vidal Negreiros. **Bases para definição do problema e geração de alternativas de produto industrial: sistema de calefação para residências.** Santa Maria, 2014.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos, o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica Pública do Brasil.** Florianópolis: UFSC, 2004.

SANEPAR. **Previsão climática para diferentes estações do ano.** Curitiba, 2017. Acesso: 06 de Abril de 2017 em http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/institucional/index_noticias.shtml.

SILVA, José A.; BRITO, Miguel C. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade.** Lisboa, 2006.

SOUZA, Luiz Guilherme Meira de; BEZERRA, João Maria. **Sistema alternativo de aquecimento solar.** Natal, 2000.

STOECKER, Wilbert F.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e ar condicionado.** São Paulo: Mc Graw, 1985.

TIEPOLO, Gerson M. **A energia solar e o potencial fotovoltaico do estado do Paraná.** Curitiba, 2015.

VETTORAZZI, Egon et al. **Projeto de piso radiante com utilização de energia solar para conforto térmico de ambientes.** Juiz de Fora, 2010.