



Trabalho de Graduação

ENGENHARIAS 2020

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A PARTIR DA TELHA TERMOACÚSTICA

OMURA, Alexandre Yukio Oliveira¹; BRETA, Joverthy Moura²; SOUZA, Matheus Oliveira³
Orientador: Prof. Ms. Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena⁴

Universidade São Francisco

alexandre.omura@mail.usf.edu.br; joverthy.breta@mail.usf.edu.br;
matheus.oliveira.souza@mail.usf.edu.br

¹ Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

² Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

³ Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

⁴ Professor Orientador Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. A energia elétrica tem destaque em diversos setores econômicos, além de ser insumo básico, se apresenta como fator de desenvolvimento e a partir das crises a prospecção de recursos renováveis deu margem a novos desenvolvimentos e novas tecnologias. Conhecer todos os fatores, que influenciam na composição e rendimento energético de um sistema de aquecimento solar, é fundamental para análise de sua viabilidade técnica. Sua aquisição exige certo investimento, que traz rápido retorno financeiro com a economia de energia, com alta durabilidade e pouca manutenção. Outro fator que salienta a viabilidade deste sistema, é a preservação ao meio ambiente, sua composição ambientalmente sustentável, utilizando uma energia renovável, que hoje gera impacto até mesmo na valorização de imóveis e garante melhor conforto térmico. Este projeto tem por objetivo abordar a capacidade de transmissão de calor através da radiação solar em telhas termoacústicas, visando preservar o meio ambiente e mostrar adaptabilidades de um meio sustentável. As telhas termoacústicas são muito utilizadas pelo seu custo benefício, pois apesar de ter zinco nas partes mais externas, também possuem isopor ou poliuretano afim de proporcionar isolamento acústico e térmico. Antes muito utilizadas em coberturas de galpões e indústrias, atualmente se destacam em projetos domésticos, garantindo vantagens como produção sob medida, com facilidade e rapidez na instalação e estética agradável.

Palavras-chave: irradiação solar; energia renovável; isolamento acústico; isolamento térmico.

Abstract. *Electric energy is highlighted in several economic sectors, in addition to being a basic input, it presents itself as a development factor and from the crises on, the prospect of renewable resources has given rise to new developments and new technologies. Knowing all the factors that influence the composition and energy efficiency of a solar heating system is essential to analyze its technical feasibility. Its acquisition requires a certain investment, which brings fast financial return with energy savings, with high durability and little maintenance. Another factor that highlights the viability of this system is the preservation of the environment, its environmentally sustainable composition, using renewable energy, which today has an impact even on the valuation of properties and ensures better thermal comfort. This project aims to*

address the heat transmission capacity through solar radiation in thermoacoustic tiles, aiming to preserve the environment and show adaptability of a sustainable environment. Thermoacoustic tiles are widely used due to their cost benefit, because despite having zinc in the most external parts, they also have polystyrene or polyurethane in order to provide acoustic and thermal insulation. Before widely used in sheds and industrial roofs, they currently stand out in domestic projects, guaranteeing advantages such as tailor-made production, with ease and speed in installation and pleasant aesthetics.

Key words: *solar irradiation; renewable energy; soundproofing; thermal insulation.*

Introdução

O progresso tecnológico acelerado e o avanço no desenvolvimento humano, aumentam a demanda e o consumo de energia, esses processos aceleram as alterações climáticas e ambientais. A energia elétrica tem destaque em diversos setores econômicos, além de ser insumo básico, se apresenta como fator de desenvolvimento e a partir das crises a prospecção de recursos renováveis deu margem a novos desenvolvimentos e novas tecnologias.

Diante do aquecimento global e a explanação dos cuidados ao meio ambiente, a energia solar ganhou destaque sendo uma das energias renováveis a ser aplicada em grande escala para substituir parte do vínculo com combustíveis não renováveis e poluentes. O constante uso de combustíveis fósseis gerou consequências ao meio ambiente, como o aumento da temperatura global, dias com temperaturas elevadas, alteração no regime de chuvas, retração de geleiras, aumento de emissões de dióxido de carbono e gases responsáveis pelo efeito estufa.

Novas tendências energéticas têm assumido demanda no mercado, entre elas a energia solar. Diversas possibilidades a médio e longo prazo, utilizam da irradiação solar para produção de energia, dentre elas pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos até grandes centrais, sistemas de produção de hidrogênio para utilização em células de combustível, para a obtenção de trabalho com emissão zero de CO₂.

No entanto, a principal participação da energia solar na matriz energética Brasileira, ocorre para aquecimento de água. Essa funcionalidade tem despertado interesse no mercado nacional, principalmente para emprego entre as classes sociais A e B, na indústria e nos serviços de hotelaria, sendo possível o investimento do valor economizado em outras áreas de empreendimento, destacando a empresa no mercado que está inserido.

Seguindo a necessidade de fontes renováveis de energia e observando exemplos de sistemas de aquecimento de água por radiação solar existente, o presente trabalho busca integrar uma terceira função a esse sistema, inserindo a telha termoacústica nesta composição. Elaborando pesquisas das propriedades e características dos materiais que compõe esse sistema, do dimensionamento da estrutura para suportar a carga de água associada a seu peso próprio e estudos de viabilidade regional de acordo com o índice de radiação solar em cada região do país, visando atingir o melhor rendimento. O desempenho do novo sistema projetado, espera que a irradiação solar aqueça o zinco da telha termoacústica, que irá aquecer a água que será armazenada no *Boiler*. Reduzindo os custos do sistema e abrangendo outras áreas do mercado econômico.

Sistema de aquecimento de água por irradiação solar

O esgotamento de fontes de combustíveis fósseis, a crise do petróleo, o incentivo a conscientização, foram fatores que influenciaram buscas alternativas de fontes sustentáveis para obtenção de energia. O Brasil é um país que apresenta excelentes características climáticas e diversas fontes naturais, graças a essas características a energia solar ganhou muita atenção, sendo considerado seu emprego em grande escala (POZZEBON, 2009).

Sistemas de aquecimento solar, são dependentes da irradiação solar sobre a superfície terrestre, a proporção da conversão térmica adquirida, depende dos parâmetros da localização (longitude e latitude) e dos coletores solares, esse equipamento é composto por um tanque de isolamento térmico e uma placa absorvedora com vidro em sua cobertura. A placa, componente do coletor solar, absorve a temperatura e aquece a água que se movimenta nos tubos no coletor. A água em seu estado de ebulição, se movimenta para a parte superior dos coletores, favorecendo a circulação da água enquanto houver a irradiação solar (POZZEBON, 2009).

A circulação da água no interior do sistema é realizada por termossifão ou um sistema de bombeamento, no primeiro caso o sistema é chamado de passivo e no segundo de ativo, respectivamente. Em um sistema ativo, onde a circulação é feita por uma bomba, o tanque pode se localizar em qualquer posição em relação aos coletores, é comum o uso de termostatos para o controle de acionamento da bomba, que ocorre quando há uma diferença estimada de temperatura entre o coletor e o reservatório, o mesmo procedimento ocorre para o desligamento. O custo deste sistema pode ser mais elevado, devido aos acessórios necessários, dentre eles os controles eletrônicos. No inverno, com a ocorrência de temperaturas mais baixas, um fluido refrigerante é usado para receber calor do coletor e transferir à água, nesse caso o sistema se chama sistema ativo indireto (POZZEBON, 2009).

A Figura 1 exemplifica um esquema de sistema ativo:

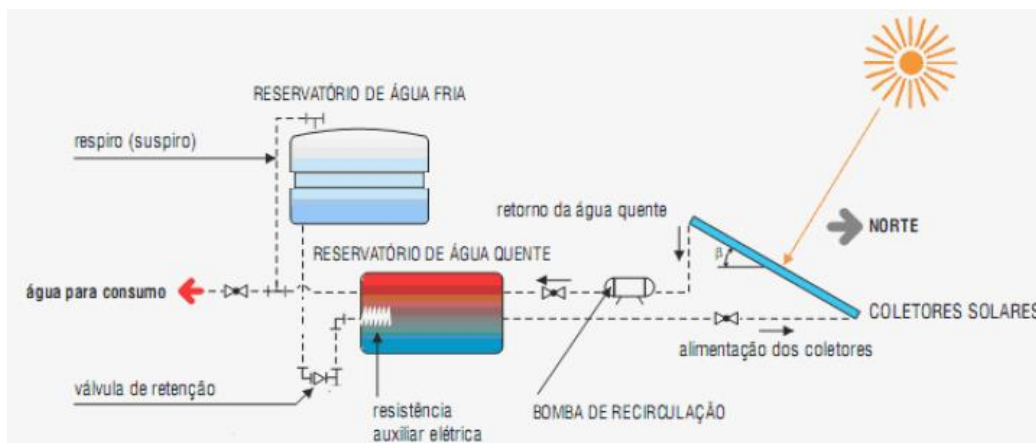


Figura 1 - Sistema de Aquecedor Solar Ativo (Fonte: POZZEBON, 2009 apud LIMA, 2003).

O sistema passivo, é o estilo mais predominante do Brasil, devido a sua simplicidade e ao clima tropical. Seu processo de funcionamento se baseia na pressão provocada pela diferença de temperatura entre o coletor solar e o reservatório térmico. Esse sistema também pode ter uma adaptação chamada de passivo indireto, onde um fluido refrigerante e um trocador de calor são utilizados para evitar congelamento em regiões onde as temperaturas são negativas (POZZEBON, 2009).

A Figura 2 apresenta um esquema de sistema operando por termossifão:

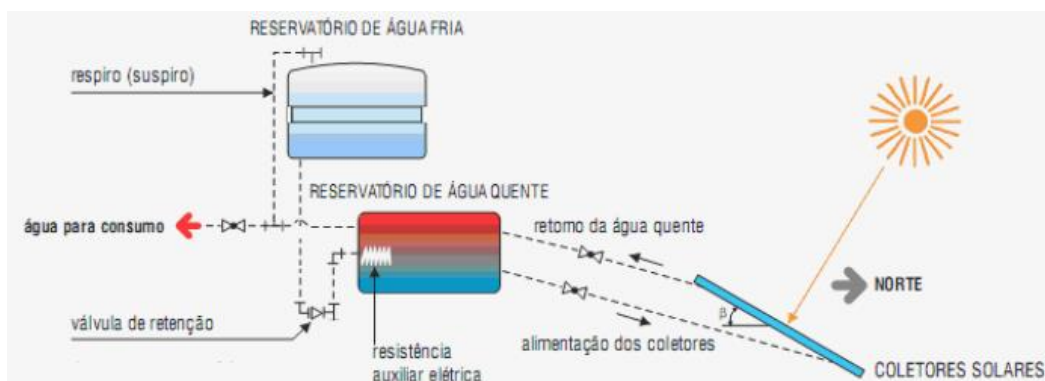


Figura 2 - Sistema de Aquecedor Solar Passivo (Fonte: POZZEBON, 2009 apud LIMA, 2003).

Existem dois tipos de coletores no sistema de aquecimento, plano e a vácuo. Os coletores a vácuo são menos utilizados, são constituídos por um tubo de calor envolvido por um tubo de vácuo, com o ar retirado, as perdas por convecção e condução são reduzidas, ampliando o ganho energético. Os coletores planos se dividem em dois tipos abertos e fechados, a diferença é que os abertos não utilizam superfície de vidro, que influencia por receber mais influência do vento em seu rendimento. A tubulação dos coletores deve aguentar altas temperaturas, sendo fabricadas usualmente por cobre. Além dos coletores, o sistema é composto por um reservatório térmico, também conhecido como *Boiler*, fabricado em aço inoxidável, galvanizado ou cobre, ele possui alta eficiência como isolante térmico minimizando perdas. Os sistemas de aquecimento solar, são utilizados atualmente nas residências, com a responsabilidade de armazenar água quente, promovendo uma vantagem econômica (POZZEBON, 2009).

Boiler

O *Boiler* é uma peça fundamental para o bom desempenho de um aquecedor solar, ele é um reservatório térmico de água, e tem por objetivo preservar sua temperatura. É encontrado em formato cilíndrico, na horizontal ou vertical. Entre as vantagens de se obter um *Boiler* estão os seguintes fatores: maior abastecimento de água quente em diversos pontos de saída de água que podem ser usados simultaneamente; banhos quentes; economia de energia; durabilidade e capacidade de armazenamento (RHEEM, 2019).

Essa peça possui grande dimensão, um dos menores *boilers* tem capacidade de 75 litros e cerca de um metro de comprimento, que varia de acordo com a sua capacidade de armazenagem. Existem *boilers* de 500 litros com mais de 2 metros de comprimento, e reservatórios acima de 1.000 litros para comércios e empresas (BARION, 2018).

Para melhor escolha é necessário fazer um esboço da área ao qual pode ser ocupada, além de uma previsão de cálculos com os gastos mensais de água pelos moradores da residência. Após sua instalação, é necessário realizar a troca dos chuveiros por duchas e as torneiras por misturadores. Como o abastecimento será de água quente, é necessária adaptação da tubulação hidráulica (RHEEM, 2020).

Para cumprir seu desempenho como isolante térmico, o *boiler* solar é revestido com materiais que garantem sua função, como o poliuretano. Um dos materiais mais utilizados em sua composição é o aço inox, que além de garantir resistência a umidade também tem características significativas como durabilidade. Desse modo, a água fica em contato com o aço inox, e o poliuretano garante o isolamento térmico, geralmente o acabamento é em alumínio para garantir proteção e durabilidade. As opções devem ser avaliadas de acordo com a vantagem e desvantagem de cada material. O acabamento mais resistente à exposição solar é o alumínio (KISOLTEC, 2019).

A Figura 3 apresenta um reservatório térmico solar:



Figura 3 - Boiler (Fonte: Leroy Merlin).

Mecânica dos Fluidos

A Mecânica dos Fluidos estuda o comportamento dos fluidos em repouso ou em movimento e as leis que regem este comportamento. As áreas de atuação deste estudo são: ação de fluidos sobre superfícies submersas, equilíbrio de corpos flutuantes, ação do vento sobre construções civis, transporte de sólidos por via pneumática ou hidráulica, cálculos de instalações e máquinas hidráulicas, instalações de vapor e ação de fluidos. O fluido pode ser definido como uma substância com pouca densidade que se deforma continuamente, ou seja, escoar sob ação de uma força tangencial por menor que ela seja (GOMES, 2013).

Os escoamentos ou também denominados fluxos dos fluidos estão sujeitos a determinadas condições, princípios e leis da dinâmica e a teoria da turbulência. Existem várias camadas que se deslocam em velocidades diferentes, sendo a velocidade igual a zero junto à parede do tubo e máxima na parte central, surgindo assim dois tipos de atrito, o atrito externo onde a resistência ao deslizamento do fluido ocorre ao longo de superfícies sólidas e o atrito interno ou viscosidade que é a resistência ao deslocamento mútuo das partículas do fluido (GOMES, 2013).

Perda de carga

Em hidráulica, a perda de carga se refere à perda de energia de um fluido, em uma tubulação sob pressão, devido a fatores como o atrito com a parede interna do tubo ou em razão da turbulência que ocorre com as mudanças de direção. A irrigação é uma técnica atual que favorece o fornecimento de água para o desenvolvimento das plantas e também para aplicação de produtos químicos e controle de salinidade do solo. O desenvolvimento do sistema de irrigação necessita de conhecimentos técnicos específicos do comportamento hidráulico, das propriedades do fluido que irá passar pela tubulação e o sistema água, solo, planta e atmosfera da região (SAMPAIO; FRIGO; BOAS; QUEIROZ; GOMES; MALLMANN, 2007).

Um dos conceitos hidráulicos necessários para o sistema é a perda de carga em tubulações, o dimensionamento das tubulações e das bombas estão diretamente ligados a este

conceito, devido à altura manométrica representar a energia fornecida ao líquido suficiente para vencer o desnível geométrico e as perdas de carga ocorridas no percurso. De acordo com o Teorema de *Bernoulli*, em condições reais, a viscosidade do fluido dá origem a tensões de cisalhamento, por consequência, o fluxo se realiza com uma perda de carga, ou seja, transformação de energia mecânica em calor e trabalho. Neste caso a perda de carga está diretamente ligada a turbulência que ocorre no conduto (SAMPAIO; FRIGO; BOAS; QUEIROZ; GOMES; MALLMANN, 2007).

A perda de carga distribuída em escoamentos turbulentos apresenta três diferenças importantes. A primeira é o valor da perda de carga, que é significativamente maior que os escoamentos laminares, devido as tensões advindas das conexões que alteram a velocidade. A segunda é a forma de dependência da perda de carga com a vazão, em escoamentos laminares esta dependência é linear, mas em escoamentos turbulentos a perda de carga varia com uma potência maior que a vazão. A terceira é a diferença relativa aos efeitos da rugosidade da superfície interna do tubo. Uma tubulação retilínea apresenta menor perda, devido ao menor uso de conexões (tais como curvas e cotovelos), que provocam perdas localizadas pela maior turbulência na região da peça (SAMPAIO; FRIGO; BOAS; QUEIROZ; GOMES; MALLMANN, 2007).

Transferência de Calor

A termodinâmica é o ramo da física que estuda as causas e os efeitos de mudança na temperatura e de outros fatores como pressão e volume. É uma ciência que estuda as leis que regem as relações entre calor, trabalho e outras fontes de energia. O calor é a forma de energia que se transfere de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura existente entre eles, o que o distingue de outras formas de energia, como o trabalho, onde sua manifestação exige um processo de transformação. Há três fatores que classificam o modo como o calor é transmitido, eles são: condução, convecção e radiação (SCHMIDT; HENDERSON; WOLGEMUTH, 1996).

A condução é a transferência de energia, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes com contato físico direto. Explicação tangível pela Lei de *Fourier* que estabelece que o fluxo de calor através de um material é proporcional a temperatura, e também pela Segunda Lei da Termodinâmica que indica que o calor flui sempre em sentido natural de um corpo de temperatura mais alta, de forma espontânea, para um corpo de temperatura mais baixa. A convecção é um mecanismo de transferência de uma energia entre uma superfície sólida e um líquido ou gás. Seu processo combina condução de calor através de fluídos, armazenamento de energia e movimentação da mistura. O corpo inserido em um meio líquido ou gasoso sofre ação vertical de empuxo, uma pressão que atua como elemento de impulsão, essa força é proporcional ao volume do fluído e se desloca pelo corpo. O líquido, por sua vez, quando aquece ocupa maior volume, sofre mais empuxo e sobe, gerando um movimento ascendente. Quando o fluído sobe, ele dá espaço a porções mais frias e densas, formando um movimento descendente e prolongando o ciclo até atingir uma estabilidade entre as temperaturas. A radiação térmica, também conhecida como irradiação, é uma forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Neste processo o calor é transmitido de um corpo com alta temperatura, para um corpo com baixa temperatura, com separação espacial, onde haja um vácuo entre os elementos. O calor irá se propagar num fluxo de ondas, em um específico movimento formando um pulso, ou sucessivos pulsos que iram transportar energia e podem se propagar no vácuo ou em meios materiais (SCHMIDT; HENDERSON; WOLGEMUTH, 1996).

A Figura 4, apresenta os três tipos de transferência de calor:



Figura 4 - Condução, Convecção e Radiação (Fonte: Brasil Escola).

Irradiação Solar

A radiação solar é a energia liberada pelo Sol, sob forma de ondas eletromagnéticas. Parte desta energia total, incidente sobre a superfície terrestre, é vista em forma de luz, enquanto a outra parte foge do espectro visual, mas permeia seus efeitos, conhecidos como raios infravermelhos (IV) e os ultravioleta (UV). A disponibilidade e intensidade da radiação solar dependem da latitude e longitude do local, estação e horário. O território brasileiro localizado próximo a linha do Equador, não obtém grandes variações de temperatura. A irradiação solar é a propagação desta energia térmica sem necessidade de meio material. É a intensidade da radiação solar, em um determinado período de tempo, se mede em *Watt* por hora por metro quadrado Wh/m^2 (KELMAN, 2005).

As tecnologias mais utilizadas para absorção deste tipo de energia são os coletores e concentradores solares. Os coletores solares são utilizados para aquecimento de água, são predominantes no setor residencial, garantem aproveitamento térmico da energia solar, são discretos e instalados no telhado das residências. Sistemas que necessitam de temperaturas mais elevadas requerem o uso de um concentrador solar, que tem a finalidade de captar a energia que incide em grandes áreas e concentrá-la em áreas bem menores, possuem percentual de aproveitamento de 14% a 22% da radiação incidente (KELMAN, 2005).

Pesquisas para melhor desenvolvimento dos equipamentos continuam e visam reduzir custos e aumentar a eficiência de conversão. Outros métodos de conversão para energia elétrica se destacam, além desses processos térmicos, com a influência da radiação em materiais semicondutores e são denominados efeito termoelétrico e fotovoltaico. O efeito termoelétrico é a conversão da diferença de temperatura entre os lados do dispositivo em tensão elétrica, é muito utilizado em medidores de temperatura, mas apresenta baixo rendimento para geração de energia elétrica. O efeito fotovoltaico é a criação de tensão ou corrente elétrica (excitação dos elétrons) a partir de um material exposto a luz, um dos materiais com mais sensibilidade fotovoltaica utilizado é o silício, a eficiência é proporcional a incidência solar sobre a superfície do material que realiza a conversão. Atualmente vários projetos estão em análise para ampliação do aproveitamento da Energia Solar no Brasil, por sistemas fotovoltaicos que obtém melhor rendimento para melhor desenvolvimento regional (KELMAN, 2005).

A Figura 5 apresenta uma radiografia solar do Brasil, de 2017, por kWh/m^2 :

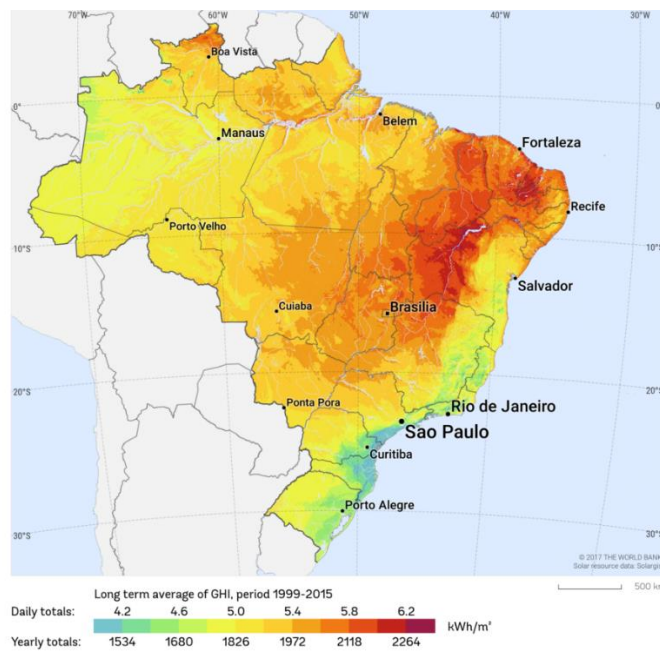


Figura 5 - Radiografia Solar Brasil (Fonte: Solar *Finger*).

Materiais condutores e isolantes térmicos

A teoria atômica clássica explica que os átomos são constituídos por um núcleo composto por nêutrons e prótons, orbitados por elétrons. Dentre essas partículas, os prótons possuem carga elétrica positiva, os elétrons possuem carga elétrica negativa, e os neutros não possuem carga elétrica. Em processos e interações onde as partículas de elétrons recebem energia, eles ganham potencial para saltar para uma órbita mais afastada. Alguns materiais, possuem elétrons livre na última camada de valência, que possuem facilidade em migrar para outros átomos, quando submetido a ação de um campo elétrico. Essas partículas de elétrons são denominadas de cargas verdadeiras, e os materiais que apresentam esse processo de condutores (JUNIOR, 2013).

A maior parte de condutores é formada por metais, devido a sua estrutura atômicas, onde seus elétrons da camada de valência fluem livremente a outros átomos. Quando uma corrente elétrica é estabelecida em um condutor metálico, vários elétrons livres se deslocam neste condutor. Os metais mais utilizados são o cobre, alumínio, ferro, prata, ouro, titânio, zinco, estanho e chumbo. O interesse no estudo de ligas metálicas, formado por diversas matérias, é devido a melhoria dos aspectos como: características de condutividade elétrica, térmica e boa resistência mecânica (PEDROSO, 2009).

Outros materiais passam por diferentes processos, onde os elétrons possuem fortes vínculos com o átomo, assim, não conseguem se soltar facilmente pela simples aplicação de campos magnéticos. Esses materiais são denominados de dielétricos, mais conhecidos como isolantes. Quando esse material é submetido a um campo elétrico, ocorre uma polarização, ou seja, um deslocamento do elétron em relação à sua posição de equilíbrio. Cargas induzidas em materiais isolantes, são denominadas de cargas de polarização (JUNIOR, 2013).

Um material isolante apresenta a ausência de elétrons livres, a uma determinada temperatura. Essa propriedade permanece e se mantém até determinados níveis de diferença de potencial, aplicada ao material, ultrapassando este limite o material se torna um condutor elétrico. Materiais dielétricos podem se apresentar na forma sólida, líquida ou gasosa. Os dielétricos sólidos são os mais utilizados na engenharia elétrica, pela propriedade de isolamento (PEDROSO, 2009).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, apresenta a Norma Brasileira (NBR) 15220 de 2003, estabelece as características que devem ser observadas no projeto de edificações

de forma a assegurar um bom desempenho térmico conforme o enquadramento nas zonas bioclimáticas brasileiras. A norma define símbolos e unidades, métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, também apresenta zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, medição da resistência térmica e condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e pelo método fluximétrico (ABNT, 2003).

Incidência de irradiação em telhas

Existem diferentes comportamentos térmicos de materiais de cobertura, que podem ser estudados através dos índices de conforto. Para as condições de verão, os efeitos do índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e da Carga Térmica Radiante (CTR) no interior de abrigos de animais, são fatores preponderantes ao ambiente. Para a avaliação dos índices de conforto devem se considerar os fatores: temperatura máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura de globo negro. As telhas de barro apresentam alto potencial de eficiência, telhas de fibra transparentes a menor eficiência térmica e demais opções comportamento intermediário (SEVEGNANI; FILHO; SILVA, 1994).

Segundo os estudos, as telhas de barro apresentam alto potencial de conforto térmico, porém apresentam custo das telhas e madeiramento mais elevado; em seguida os melhores resultados são das telhas de alumínio e das telhas térmicas, que apresentam conforto semelhante e melhor custo benefício. As opções de telha de cimento amianto e a de zinco, não são recomendadas, pois são extremamente desconfortantes, o somido das chapas de zinco amplia o stress, e devem ser consideradas em último caso, em pés direitos que excedem 4 metros de altura. As telhas de fibra de vidro são totalmente desconsideradas, e não devem ser utilizadas em nenhuma condição, pois, por seu efeito translúcido, a maior parte do potencial de radiação solar incidente sobre as telhas, transpassa o material (SEVEGNANI; FILHO; SILVA, 1994).

Incidência de irradiação em telhas

As telhas termoacústicas ou também denominadas de termo forro painel, são a solução ideal para coberturas onde se deseja conforto térmico e acústico, propriedades aliadas as características das telhas metálicas. Este material é indicado para regiões com elevada concentração de umidade no ar, para evitar possíveis gotejamentos recorrentes da condensação da umidade interna, quando esta entra em contato com as coberturas aquecidas pela irradiação solar. Outra característica que o material proporciona é o menor consumo de energia elétrica, pois devido ao isolamento térmico, o uso de equipamentos de refrigeração é menor. As opções disponíveis no mercado comercial são: as telhas “sanduíche” compostas por telha, isolante e telha; telhas termoacústicas forro, compostas por telha, isolante e forro aço; e o isolante EPS que é composto por Poliestireno Expandido (METALFORTE, 2018).

A Figura 6 apresenta as dimensões das telhas:

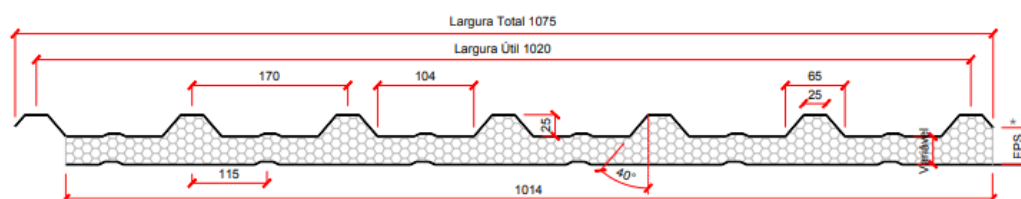


Figura 6 - Dimensão Termo Forro Painel TR-25 (Fonte: Metalforte).

Em relação a aplicação, as telhas termoacústicas são indicadas e recomendadas para desenvolvimento de projetos que necessitem de coberturas com maior isolamento contra incidência solar e a ocorrência de ruídos. O material apresenta tratamento com fosfato de zinco, o que amplia a aderência ao aço galvanizado e o poliuretano, formado através da injeção (TUPER, 2014).

Material e Métodos

Com as informações da pesquisa científica e técnica do projeto, iniciou-se a elaboração de um croqui onde foram escolhidas as características geométricas necessárias, sendo um sistema não convencional que pode ser adaptado à vários espaços e conjugado a diversos modelos de telhas, pois, a execução física do projeto é de suma importância.

O mercado atual apresenta vários modelos e tipos de telhas termoacústica, tubulações, conexões, reservatório (*boiler*) e outros insumos, assim para analisar a proposta de estudo, foi necessário após o projeto, selecionar o material a ser utilizado para realização do experimento, a partir de pesquisas das propriedades e características dos materiais, foi possível compor o sistema. Aqui estão relacionados os materiais e o valor desembolsado para confecção do protótipo.

TABELA 1 - Materiais e Custos

Especificação	Dimensionamento	Quant.	Custo
Chapa de Zinco	1,00 m x 1,50 m	02	R\$ 272,00
Folha de Isopor (EPS)	0,50 m x 1,50 m x 0,03 m	04	R\$ 144,80
Folha de Isopor (EPS)	0,50 m x 1,50 m x 0,015 m	03	
Folha de Isopor (EPS)	0,50 m x 1,50 m x 0,01 m	06	
Tubo de Cola para Isopor	50 ml	05	
Cola para Telha Sanduíche	1 unidade	01	R\$ 48,32
Espaguete de Piscina com Furo no Meio	1 unidade	04	R\$ 30,00
Spray Preto Fosco	1 unidade	01	R\$ 19,13
Boias Para Caixa D'água	1 unidade	02	R\$ 42,06
Rolo de Fita Isolante	1 unidade	01	R\$ 6,74
Tanque (Comprado em comércio de sucatas para construção do <i>boiler</i> - Reservatório de Água)	1 unidade	01	R\$ 30,00
Conduíte	1,00 m	01	R\$ 7,23
Barra de Cano PVC	ø ½"	01	R\$ 18,00
Barra de Cano PVC	ø ¾"	01	R\$ 20,00
Cotovelo	ø ½"	04	R\$ 4,00
Cotovelo	ø ¾"	04	R\$ 3,60
Rolo de Manta Asfáltica Aluminizada	10,00 m x 0,30 m	01	R\$ 82,00
Flange	ø ½"	01	R\$ 12,00
Flange	ø ¾"	02	R\$ 34,00
Luva	ø ¾"	02	R\$ 3,06
Reservatório de água fria Galhão	20 l	01	R\$ 25,00
Custo Total			R\$ 801,94

Fonte: Autor.

Como pode ser observado na planilha, o custo total para realização do protótipo é de R\$801,94.

Ilustrações do Protótipo

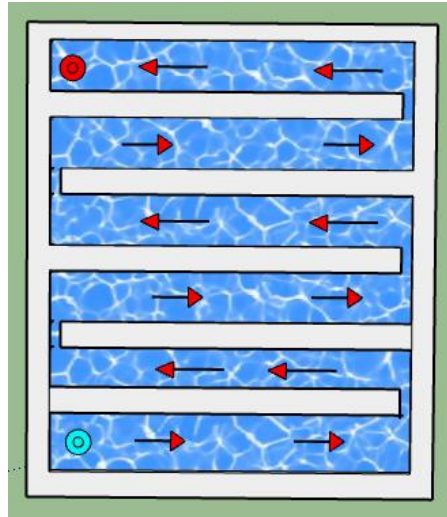


Figura 7 - Circulação interna (Fonte: Autor).

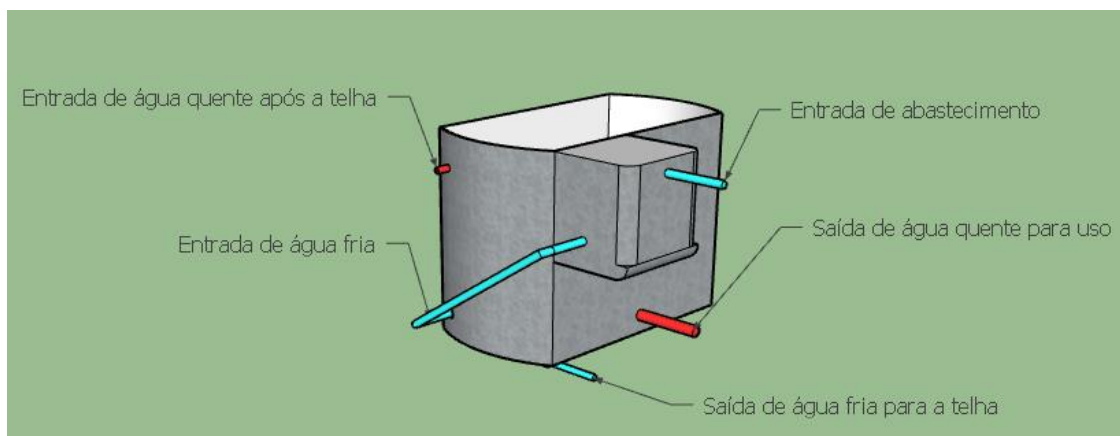


Figura 8 - Tubulações (Fonte: Autor).

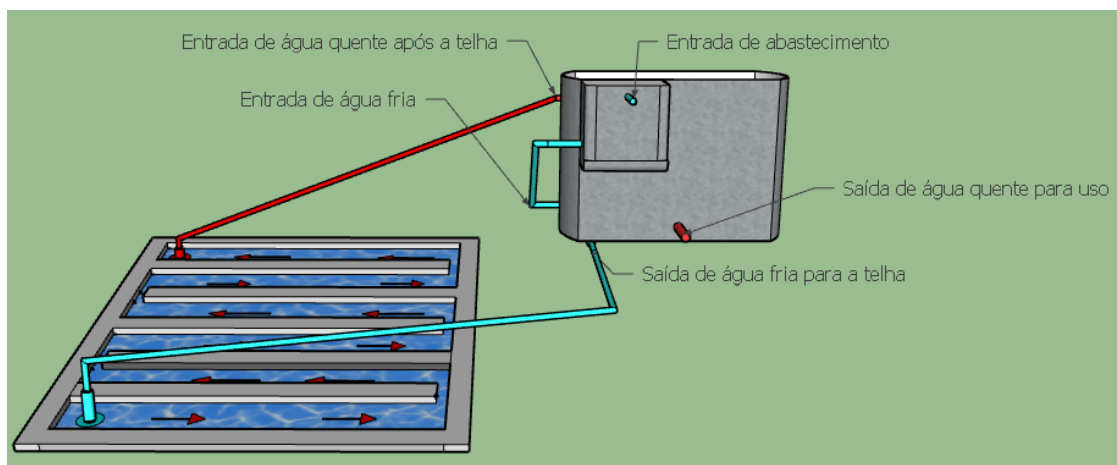


Figura 9 - Percolação da Água (Fonte: Autor).

Confeção do Protótipo

Com o material em mãos, foi possível iniciar a confecção do protótipo. Seguem os passos de execução da telha termoacústica com aquecimento solar:

Passo 01. Fazer a limpeza das chapas de zinco;

Passo 02. Lixamento de uma das faces das chapas de zinco (para melhor aderência ao ser colado);

Passo 03. Colagem de três folhas de EPS com espessura de 3cm na chapa de zinco;

Passo 04. Fazer as marcações e recortes nas chapas de EPS de espessura de 1,5cm, áreas por onde vai percolar a água;

Passo 05. Colagem dos EPS formando o conjunto por onde a água irá percorrer e fazer a troca de calor com a chapa de zinco superior;

Passo 06. Furação e implantação dos flanges de entrada e saída de água na chapa de zinco superior sendo os flanges de $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ " respectivamente;

Passo 07. Colagem da chapa superior ao conjunto fazendo o fechamento da telha;

Passo 08. Pintura da chapa superior de zinco (preto fosco).



Figura 10 - Marcações nas chapas de EPS (Fonte: Autor).



Figura 11 - Recortes nas chapas de EPS (Fonte: Autor).



Figura 12 - Chapas de EPS coladas (Fonte: Autor).

Seguem os passos de execução do *Boiler* de armazenamento:

Passo 01. Limpeza do tanque;

Passo 02. Isolamento térmico do tanque com folhas de EPS e manta asfáltica;

Passo 03. Elaboração da tampa do reservatório;

Passo 04. Instalação do sistema de água fria;

Passo 05. Instalação das boias de entrada e de saída de água;

Passo 06. Instalação do *boiler* e da telha;

Passo 07. Instalação dos tubos de PVC (entrada, saída e uso);

Passo 08. Instalação da torneira de saída;

Passo 09. Instalação do *boiler* no local de ensaio;

Passo 10. Instalação da telha e conclusão do sistema;

Passo 11. Teste de estanqueidade.



Figura 13 - Limpeza do tanque (Fonte: Autor).



Figura 14 - Elaboração de uma tampa para o *boiler* (Fonte: Autor).

A partir do sistema de captação e aquecimento montados, a perspectiva era que através do preenchimento de água a telha absorvesse os raios solares e realizasse uma transferência de temperatura entre a lâmina de zinco superior e a água que com aquecimento teria uma expansão de massa percolando para parte mais elevada da inclinação até o flange de saída onde percorre por tubos termicamente isolados chegando ao *boiler* que é responsável pelo armazenamento da água e seu isolamento térmico.



Figura 15 - Protótipo finalizado (Fonte: Autor).

Ensaios

Os ensaios foram realizados da seguinte forma, respectivamente:

1º Teste:

O sistema de aquecimento utilizado, é uma nova opção de mercado, sendo testado pela primeira vez. Durante o primeiro teste, foi possível perceber que alguns materiais não se enquadraram no padrão construtivo, como a cola e o EPS, que impossibilitaram a continuidade dos ensaios de funcionamento e temperatura. Após a confecção do sistema com a cola de isopor (EPS), foi realizado o preenchimento da telha com água, assim ocorreram vários vazamentos tanto entre EPS e Zinco como entre placas de EPS.

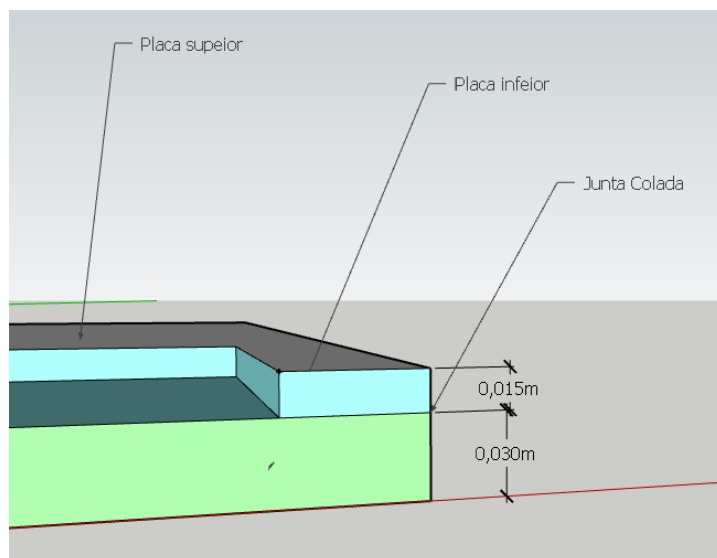


Figura 16 - Croqui inicial (Fonte: Autor).

2º Teste:

Foi necessário desmontar e realizar uma limpeza dos resíduos de cola existentes, em seguida as placas de EPS superiores foram substituídas por chapas menos espessas, de 1 cm, a cola também foi substituída por outra, com o intuito de estancar os vazamentos. Nesse novo teste ao preencher a telha com água, novamente ocorreram vazamentos, em menor escala, porém, nos mesmos pontos.

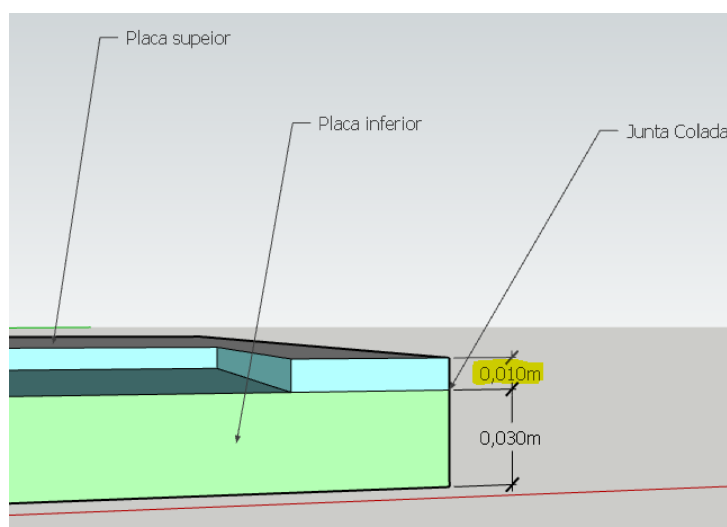


Figura 16 - Alteração do protótipo (Fonte: Autor).

3º Teste:

Após a desmontagem e limpeza dos resíduos de cola anteriores, foram removidas do projeto as chapas superiores de 1 cm, foram realizados rebaxos de 0,5 cm, na chapa de 3 cm, para que a lamina de água ficasse menor, diminuindo assim as áreas coladas e o peso da telha. Anteriormente a cola foi substituída com o objetivo de estancar os vazamentos. Nesse último teste ao ativar o sistema foi possível observar que além da água continuar vazando nas junções das chapas de EPS e Zinco ela também passou a percolar pela massa do próprio EPS em seus poros (vazios).

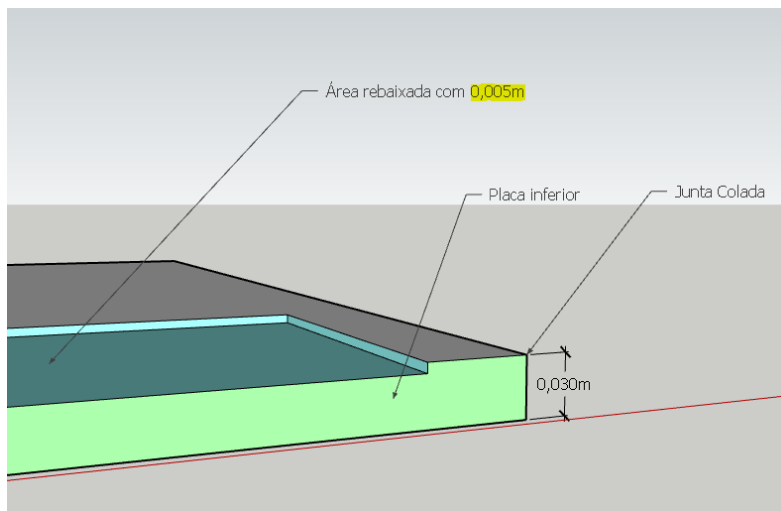


Figura 17 - Área Rebaixada (Fonte: Autor).



Figura 18 - Realização dos rebaixas (Fonte: Autor).

Resultados e Discussão

Os vazamentos perpetuaram, mesmo com alterações do protótipo e da cola para vedação. A vazão diminuiu, porém não findou.



Figura 19 - Vazamento 1 (Fonte: Autor).



Figura 20 - Vazamento 2 (Fonte: Autor).

De acordo com a análise final do experimento, foi concluído que os materiais comercialmente disponíveis são inadequados para o projeto, como exemplo os tipos de cola, não foram ideais para vedar as junções entre as placas de EPS e entre as chapas de zinco, outro exemplo seria o EPS não ser uma única chapa maciça moldada sem espaços vazios e impermeáveis, pois foi utilizado material escolar, não foi possível chegar aos resultados esperados, no caso a coleta de temperatura da água no *boiler*, dentro da própria telha e saída de uso, de acordo com os variados dias de clima variado. Isso decorreu devido à falta de ensaio, com o uso de materiais adequados se chegaria a resultados positivos.

Conclusões

O consumo de energia elétrica atualmente é um dos principais fatores de crescimento econômico e social, em contra partida este crescimento é sinônimo de poluição e aquecimento climático.

A finalidade de ampliar recursos renováveis como fonte de energia, é reduzir a dependência de combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito estufa. O equipamento com maior participação de consumo em residências brasileiras é o chuveiro elétrico. Entre as fontes renováveis disponíveis a energia solar é a mais abundante para ser explorada, existe uma viabilidade técnico-econômica do uso de aquecedores solares de água, se comparadas com aquecimento elétrico e a gás.

A exploração do potencial solar em território brasileiro, pode proporcionar benefícios a diferentes setores da sociedade e minimizar os danos ao meio ambiente. Retardando a necessidade de investimento em usinas geradoras de eletricidade, evitando impactos ambientais decorrentes da instalação e operação desses empreendimentos.

Diversas pesquisas se concentram em desenvolver e dimensionar aquecedores solares populares, com materiais viáveis, a baixo custo. A exploração de novos materiais, projetos e adaptações amplia a possibilidade de todas as classes econômicas utilizarem deste recurso.

Com o objetivo de abordar a capacidade de transmissão de calor através da radiação solar em telhas termoacústicas, visando preservar o meio ambiente e mostrar adaptabilidades de um meio sustentável. As telhas termoacústicas foram escolhidas pelo seu custo benefício, além de conter zinco nas partes mais externas, também possuem isopor ou poliuretano afim de proporcionar isolamento acústico e térmico. Atualmente as telhas termoacústicas estão se destacando em projetos domésticos, garantindo vantagens como produção sob medida, com facilidade e rapidez na instalação e estética agradável.

O desempenho do novo sistema projetado, espera que a irradiação solar aqueça o zinco da telha termoacústica, que irá transferir temperatura e aquecer a água armazenada no *boiler*. Reduzindo os custos do sistema e abrangendo outras áreas do mercado econômico.

O protótipo experimental construído não apresentou o desempenho satisfatório, devido aos vazamentos, não possibilitando a realização dos ensaios com a qualidade desejada. A adequação dos materiais adquiridos, disponíveis no mercado, não se adequou ao protótipo que apresentou manifestações patológicas.

Esta pesquisa poderia dar seguimento a partir de outros materiais, no caso se a chapa fosse moldada e continua sem necessidade de recortes e cola, não haveria vazamentos. Outras técnicas poderiam ser aplicadas, até mesmo materiais reciclados, a partir de dados coletados seria possível traçar uma curva de eficiência a longo prazo do coletor, a implantação de um coletor de temperatura na entrada do *boiler* poderia traçar uma curva de eficiência instantânea. É possível realizar comparações em reservatórios verticais e horizontais convencionais, estudar o coletor e os dados apresentados e a inclinação dos coletores solares de acordo com a variação do sol ao longo do ano.

Existem restrições técnicas à difusão de projetos para ampliação do uso da energia solar, alguns sistemas possuem baixa eficiência na conversão de energia, tornando-se necessário o uso de extensas áreas de captação, para tornar o sistema econômico. Por isso, devido ao potencial existente em território brasileiro, no clima tropical, o desenvolvimento de pesquisas e avanços científicos relacionados aos materiais amplia as possibilidades de melhora no potencial de conversão térmica.

Agradecimentos. Aos nossos pais que sempre foram solícitos e prezaram pela nossa educação. Aos nossos amigos que sempre foram atenciosos e gentis. Ao professor Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena, pela paciência e orientação. Nossa eterna gratidão! Muito Obrigado!

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/patricialopes9480/nbr-15220>>. Acesso em: 02 mai. 2020.

BARION, Ivan. **Boiler como funciona?** Dicas imperdíveis para ter o seu aquecedor de água, 2018. AqueceNorte. Disponível em: <<https://aquecenorte.com.br/blog/boiler-como-funciona/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

GOMES, Maria Helena Rodrigues. **Apostila de Mecânica dos Fluidos**. Juiz de Fora, MG: UFJF, 2013, p. 80. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mec%C3%A2nica-dos-Fluidos.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

HELERBROCK, Rafael. **Condução térmica**, 2019. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/conducao-termica.htm>>. Acesso em 13 de junho de 2020.

JUNIOR, Martins Vasconcelos. **Eletricidade Básica:** Capítulo 7 - Condutores e Isolantes. Adjuto Junior. 2013. p. 45-61. Disponível em: <http://www.adjutojunior.com.br/eletricidade_basica/cap07.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2020.

KELMAN, Jerson. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª ed. Brasília: ANEEL, 2005. p. 29-42. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

KISOLTEC. **Afinal, o que é boiler solar?**, 2019. Kisoltec. Disponível em: <<https://blog.kisoltec.com.br/afinal-o-que-e-boiler-solar/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

LEROY MERLIN. **Boiler Solar**, 2020. Leroy Merlin. Disponível em: <<https://www.leroymerlin.com.br/boilers-solar>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

METALFORTE. **Telhas Termoacústicas**, 2018. Metalforte. p. 11. Catálogo em Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://www.metalforte.com.br/wp-content/uploads/2018/06/te-lhas-termoacustica.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2020.

PEDROSO, Carlos Marcelo. **Materiais Elétricos**. Paraná: UFPR, jul. 2009. p.7. Versão Eletrônica. Disponível em: <[http://www.eletrica.ufpr.br/pedroso/2009/TE032/Aulas/Materiais Eltricos.pdf](http://www.eletrica.ufpr.br/pedroso/2009/TE032/Aulas/Materiais%20Eltricos.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2020.

POZZEBON, Felipe Barin. **Aperfeiçoamento de um Programa de Simulação Computacional para Análise de Sistemas Térmicos de Aquecimento de Água por Energia Solar**. 2009. 113 f. Pós-Graduação – Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/16305>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

RHEEM. **Boiler: Entenda como funciona e outras dicas**, 2019. RHEEM. Disponível em: <<https://www.rheem.com.br/boiler-entenda-como-funciona-e-outras-dicas/>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

SAMPAIO, Silvio C.; FRIGO, Elisandro P.; BOAS, Macio A.; QUEIROZ, Manoel M. F. de; GOMES, Benedito M.; MALLMANN, Larissa S. **Perda de Carga em Tubulações e Conexões Conduzindo Água Residuária da Avicultura**. Irriga, Botucatu, vol. 12, n. 2, p. 227, abr.-jun. 2007. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3302>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

SCHMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH, Carl H. **Introdução às Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor**. Tradução da 2ª ed. Americana pela coordenação e revisão técnica de José Roberto Simões Moreira; e equipe de tradução Arlindo Tribess. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 1996. p. 9-12. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/title/introducao-as-ciencias-termicas-termodinamica-mecanica-dos-fluidos-e-transferencia-de-calor/oclc/697162486>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SEVEGNANI, K. B.; FILHO, H. G.; SILVA, I. J. O. **Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. Sci. Agric., Piracicaba, vol. 51, n. 1, p. 1-7, jan./abr. 1994. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/sa/v51n1/01.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

SOLARFINGER. **Mapa Solar do Brasil**, 2018. Solar Finger. Disponível em: <<https://solarfinger.com.br/mapa-solar-brasil/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

TUPER. **Telhas Termoacústicas**, 2014. Tuper. p. 4. Catálogo em Versão Eletrônica. Disponível em: <<https://www.tuper.com.br/wp-content/uploads/2014/05/telhas-termoacusticas.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2020.