



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Minas Gerais - Campus Formiga.
Curso de Engenharia Elétrica

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA POPULAÇÃO
DE BAIXA RENDA USANDO ENERGIA SOLAR E ELÉTRICA, COM
REAPROVEITAMENTO DE CALOR.

Marco Antônio Silva Pereira

Formiga - MG
Abril – 2014

Marco Antônio Silva Pereira

Protótipo de um sistema de aquecimento de água para população de baixa renda usando energia solar e elétrica, com reaproveitamento de calor.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Economia de energia elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Carlos Renato Borges dos Santos

Formiga - MG

Abril – 2014

P436p Pereira, Marco Antônio Silva.

Protótipo de um sistema de aquecimento de água para população de baixa renda usando energia solar e elétrica, com reaproveitamento de calor / Marco Antônio Silva Pereira. – Formiga, MG. 2014.

64p.: il.

Orientador: Prof. MSc. Carlos Renato Borges dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal Minas Gerais – Campus Formiga.

1. Aquecedor solar. 2. Reaproveitador de calor. 3. Misturador automatizado. 4. Arduino. I. Santos, Carlos Renato Borges dos. II. Título.

CDD 621.381

Marco Antônio Silva Pereira

Protótipo de um sistema de aquecimento de água para população de baixa renda usando energia solar e elétrica, com reaproveitamento de calor.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em ____ de _____ de ____.

Resultado: _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Carlos Renato Borges dos Santos

Prof. MSc. Renan Souza Moura

Prof. MSc. Otávio de Souza Martins Gomes

RESUMO

Este trabalho consiste, basicamente, na pesquisa dos vários meios de aquecimento de água para o banho. A ideia principal é fazer uma mesclagem dos sistemas existentes, a fim de produzir um modelo eficiente e de baixo custo para garantir a acessibilidade da população de baixa renda. O modelo proposto é constituído por um sistema de aquecimento solar, um reaproveitador de calor e um misturador de água automatizado. A partir dos estudos realizados, foi desenvolvida uma maquete do modelo ecológico de chuveiro que engloba as diversas tecnologias estudadas, fazendo uso de sensores de temperatura de baixo custo para o misturador automatizado, com recuperador de calor e aquecedor solar confeccionados de materiais de fácil aquisição.

Palavras Chave: Aquecedor solar; Reaproveitador de calor; Misturador automatizado; Arduino.

ABSTRACT

This work consists basically in the research of various means of heating of water for bathing. The main idea is to make a merge of existing systems, in order to produce an efficient, low-cost model to ensure the accessibility of the low-income population. The proposed model consists of a solar heating system, a heat reuse and an automated water mixer. From the studies carried out, was developed a mockup of the ecological model of shower that encompasses the various studied technologies, making use of low-cost temperature sensors for automated mixer, with heat reuse and solar water heater made with materials of easy acquisition.

Keywords: Solar heater; Heat reuse; Automated mixer; Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de energia percentual por equipamento.	11
Figura 2: Curva de Carga diária residencial	14
Figura 3: Aquecedor Solar.	17
Figura 4: Radiação solar global diária, média anual (MJ/ m ² . dia).....	20
Figura 5: Insolação Diária, Média Anual (horas).	20
Figura 6: Misturador Automático.	21
Figura 7: Reaproveitador de Calor.	24
Figura 8: Esquema do modelo proposto.	25
Figura 9: Arduino Mega 2560.	33
Figura 10: Ciclo ativo de um PWM.	34
Figura 11: Exemplo de ligação de um IRF540 utilizando Arduino.	36
Figura 12: Simbologia de um Relé.	37
Figura 13: Acionamento de carga AC utilizando relé.	37
Figura 14: Display LCD FDCC1602E.	38
Figura 15: Exemplo de ligação de um display LCD com o Arduino.	39
Figura 16: Ligação de botões <i>push-button</i> com o Arduino.	40
Figura 17: Representação e pinagem de um sensor de temperatura LM35.	41
Figura 18: Circuito de ligação do display LCD.....	42
Figura 19: Circuito de acionamento das bombas d'água.	43
Figura 20: Circuito dos sensores.....	43
Figura 21: Diagrama esquemático do circuito completo.....	44
Figura 22: Visão de <i>Protoboard</i> do circuito completo.....	45
Figura 23: Arquitetura do sistema de controle.....	46
Figura 24: Fluxograma de controle.....	47
Figura 25: Protótipo do aquecedor solar de garrafa PET.	50
Figura 26: Protótipo do Reaproveitador de Calor.	51
Figura 27: Protótipo do Misturador.	52
Figura 28: Protótipo do chuveiro completo.	52
Figura 29: Testes do aquecedor solar.....	53
Figura 30: Shield do circuito de controle.	55
Figura 31: Circuito de sensores.....	55

Figura 32: Montagem do circuito para testes.	56
Figura 33: Funcionamento do Display LCD.....	57
Figura 34: Forma de onda PWM ($\pm 50\%$ de vazão para ambos os sistemas).....	57
Figura 35: Forma de onda PWM (Mais vazão do sistema reaproveitador de calor). .	58
Figura 36: Forma de onda PWM (Mais vazão do sistema aquecedor solar).	58
Figura 37: Testes do acionamento da resistência elétrica do chuveiro.	59
Figura 38: <i>Layout</i> do dispositivo de controle de temperatura.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tarifa Residencial normal.....	13
Tabela 2: Tarifa Residencial de baixa renda	14
Tabela 3: Custo de aquisição e instalação.....	27
Tabela 4: Perda de água até atingir a temperatura ideal (4 banhos por dia).	27
Tabela 5: Consumo de água por minuto	28
Tabela 6: Custo por banho de oito minutos (água, energia elétrica e gás).	28
Tabela 7: Custo mensal para uma família de quatro pessoas.....	28
Tabela 8: Lista de Especificações do Arduino Mega 2560.....	32
Tabela 9: Atribuição dos pinos do LCD FDCC1602E.....	39
Tabela 10: Medições de temperatura do Aquecedor.....	54

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	10
1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	11
1.3. HIPÓTESE	12
1.4. JUSTIFICATIVA	13
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. AQUECEDOR SOLAR	17
2.2. MISTURADOR AUTOMÁTICO	19
2.3. AQUECEDOR A GÁS	21
2.4. CHUVEIRO HÍBRIDO.....	22
2.5. REAPROVEITADOR DE CALOR.....	23
3. MODELO PROPOSTO.....	25
3.1. COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS.....	26
3.2. CONTROLE ELETRÔNICO DO CHUVEIRO	31
3.2.1. MICROCONTROLADORES	31
3.2.2. MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO (PWM)	33
3.2.3. MOSFET IRF540.....	35
3.2.4. RELÉS.....	36
3.2.5. <i>DISPLAY</i> LCD	38
3.2.6. SENSORES	41
3.2.7. CIRCUITO DE CONTROLE E ACIONAMENTO	42
3.2.8. LÓGICA DE CONTROLE	45
3.2.9. COMPILADOR DA PLATAFORMA ARDUINO.....	49
3.3. MODELO FÍSICO REDUZIDO	49
4. RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	53
4.1. TESTES DO AQUECEDOR SOLAR	53

4.2. TESTES DO CIRCUITO DE CONTROLE	54
4.3. CONCLUSÕES	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica e o esgotamento das matrizes energéticas tradicionais, tais como as usinas hidrelétricas e termelétricas, resultaram em uma necessidade de buscar formas alternativas de produzir energia, ou seja, formas renováveis que produzam eletricidade de forma eficiente sem que ocorra uma degradação ambiental considerável (CRISPIN, 2010).

Tendo em vista este problema mundial, surgiu-se a ideia de um projeto que reduzisse o consumo de energia elétrica de um chuveiro doméstico, que é um dos principais colaboradores para o consumo total de energia em uma residência.

Atualmente, existem vários sistemas alternativos de aquecimento de água, porém muitos deles apresentam gastos maiores que os gastos do chuveiro elétrico convencional. Para garantir que realmente ocorra uma eficiência energética é necessário fazer uma junção dos sistemas existentes, fazendo uso das vantagens de cada um.

Uma maneira encontrada foi a utilização do aquecedor solar que, juntamente com o uso de um reaproveitador de calor e um sistema de sensores de temperatura para determinar quando é necessário aquecer a água usando a energia elétrica, formam uma solução totalmente viável e com uma eficiência maior do que a de cada sistema separado.

1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Este presente projeto tem como objetivo geral o estudo sobre as diversas formas de aquecimento da água destinada ao banho. Especificadamente o projeto aborda a questão de aumentar a eficiência dos sistemas existentes, utilizando materiais de baixo custo para garantir a acessibilidade da população de baixa renda. Para tal, foi desenvolvida uma maquete que representa os sistemas envolvidos, um sistema coletor solar de garrafas PET e um projeto para o misturador de água automatizado utilizando a plataforma Arduino.

1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Em uma residência convencional são encontrados diversos equipamentos que necessitam de energia elétrica para funcionamento. Alguns destes equipamentos apresentam um baixo percentual de consumo de energia em relação ao consumo total da residência. A seguir, na figura 1, estão apresentados os consumos percentuais de alguns equipamentos comuns em uma residência, de acordo com a COPEL (2011).

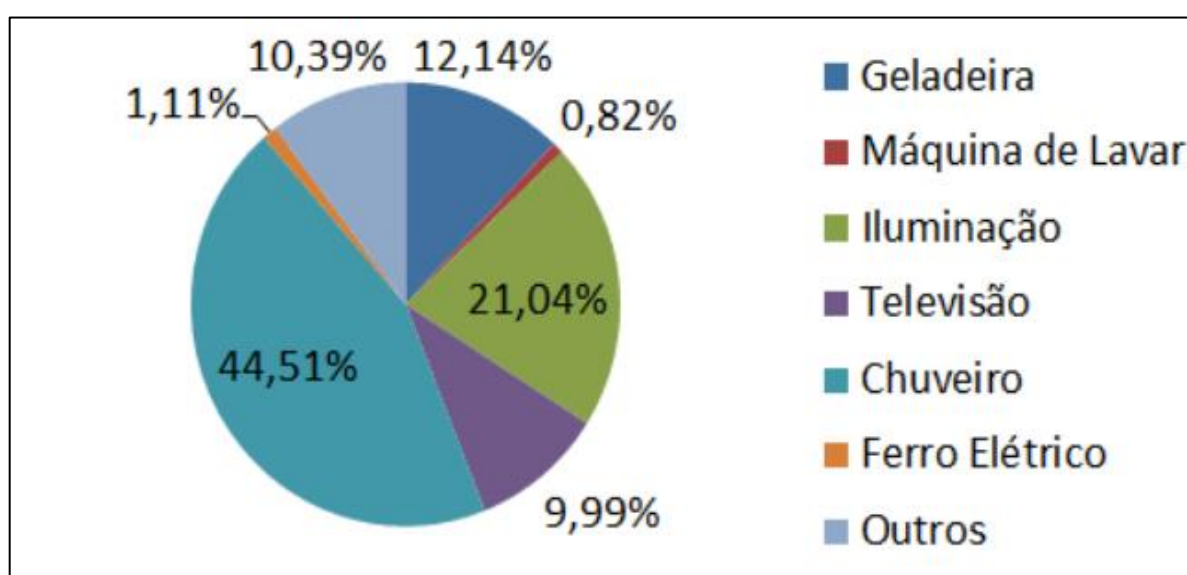


Figura 1: Consumo de energia percentual por equipamento.

Fonte: COPEL, 2011.

Nota-se que 44,51% do total de energia elétrica consumida em uma residência é resultado do uso do chuveiro elétrico, ou seja, quase metade do valor da conta de luz é devido ao chuveiro. Em virtude deste fato, o presente projeto se propõe a desenvolver um modelo físico reduzido (maquete) de um sistema de aquecimento de água com alto rendimento de energia. Nesta maquete serão incluídos diversos sistemas aparentemente isolados, mas que se anexados poderão aumentar a eficiência total do sistema de aquecimento de água, reduzindo, assim, o consumo de energia elétrica.

O primeiro sistema incorporado ao modelo é o sistema de aquecimento solar. Como principal vantagem, este sistema consegue retirar o chuveiro, parcialmente, do sistema elétrico brasileiro. Entretanto, o aquecedor solar possui algumas desvantagens, como a sua ineficiência em dias nublados e, o mais importante: consome-se muita água para que a água fria saia da tubulação e chegue à torneira com uma temperatura quente e, além disso, consome-se outra parcela de água para ajustar manualmente a temperatura em que esta chega ao chuveiro, através da mistura de água quente e fria.

Ressalta-se que o desperdício de água, nos dois instantes citados, pode ser atenuado através de um sistema com misturador automatizado. Este misturador é capaz de regular a temperatura da água, de forma rápida, para que esta chegue ao chuveiro em condições ideais para o banho sem que ocorra desperdício (SOLETROL, 2011). Sistemas automatizados já existem no mercado, mas são inviáveis para a população de baixa renda. Como incentivo à redução de custo da proposta descrita neste projeto, tem-se a utilização de sensores de temperatura e de materiais construtivos de baixo custo ou de fácil aquisição.

Um sistema de reaproveitador de calor também é inserido ao modelo, similar ao desenvolvido com o apoio da Cemig (ANDREONI et al., 2009), que consiste em reaproveitar o calor da água já usada fazendo uma troca de calor com a água fria que ainda será utilizada. Este sistema é perfeito para aumentar a eficiência do sistema, principalmente quando se está em dias nublados, onde há uma redução da vazão de água quente proveniente do boiler do aquecedor solar. Este reaproveitador de calor pode, inclusive, reduzir o volume necessário para o *boiler* utilizado, uma vez que utilizará menos água quente (reduzindo o custo do projeto).

1.3. HIPÓTESE

Tendo em mente que um dos maiores gastos com energia elétrica em uma residência comum é proveniente do chuveiro, assim como foi visto na seção anterior, o projeto tentará provar a viabilidade de inserção de diversas tecnologias nos

sistemas atuais de aquecimento da água, levando em consideração uma maior eficiência e um custo reduzido de instalação e produção.

1.4. JUSTIFICATIVA

Justifica-se o projeto a partir da necessidade de reduzir os gastos com energia elétrica em uma residência, otimizando o processo de aquecimento da água destinada ao banho. Além de aumentar a eficiência dos sistemas de aquecimento de água, o projeto poderá mudar o tipo de tarifação de energia de uma residência. Uma vez que haverá uma redução considerável do consumo de energia, uma família de baixa renda poderá se enquadrar em uma tarifa social com isenção do ICMS, de acordo com seu consumo.

A tarifa de energia elétrica, chamada de tarifa residencial social, foi uma forma de o governo federal tentar dar acesso, via preços considerados por ele razoáveis, aos benefícios da energia para consumidores de baixa renda. O valor da tarifa para os consumidores de baixa renda é inferior ao valor da tarifação convencional e ainda existe uma isenção do valor do ICMS, o que justifica o enquadramento social (ZENHA, 2006).

De acordo com o consumo de energia de uma residência o valor pago por cada KWh varia, sendo mais elevados os preços para um consumo maior. A tabela 1 mostra a tarifação residencial da Cemig Distribuição S/A, de acordo com a ANEEL Nº 1507 de 05 de abril de 2013 com valores referentes ao período de 08/04/2013 a 07/04/2014, cujos preços não apresentam os valores tributários dos impostos. A tabela 2 mostra o preço que seria pago por uma residência que se enquadra em tarifação residencial de baixa renda.

Tabela 1: Tarifa Residencial normal

Tensão Baixa: Residencial	
Faixa de consumo	Preço * (R\$/kWh)
Tarifa Plena	0,34700

Fonte: ANEEL, 2013.

Tabela 2: Tarifa Residencial de baixa renda

Tensão Baixa: Residencial de baixa renda	
Faixa de consumo	Preço * (R\$/kWh)
De 0 a 30 kWh	0,11883
De 31 a 100 kWh	0,20371
De 101 a 220 kWh	0,30556
Acima de 220 kWh	0,33951

Fonte: ANEEL, 2013.

* Tarifas sem impostos (ICMS, PIS/PASEP, COFINS e Contribuição de Iluminação Pública).

Outro ponto considerável é a curva de carga do consumidor residencial. A curva caracteriza-se por um consumo praticamente constante durante o dia inteiro com um aumento no fim da tarde e um pico de demanda, provocado, principalmente, pelo uso do chuveiro elétrico (entre 18 e 21 horas) que é chamado de horário de ponta, onde se exige mais das linhas de transmissão devido ao alto consumo de energia. Na figura 2 é mostrada a curva de carga de um dia útil de um consumidor residencial real, de acordo com Aislan Antonio Francisquini (2006).

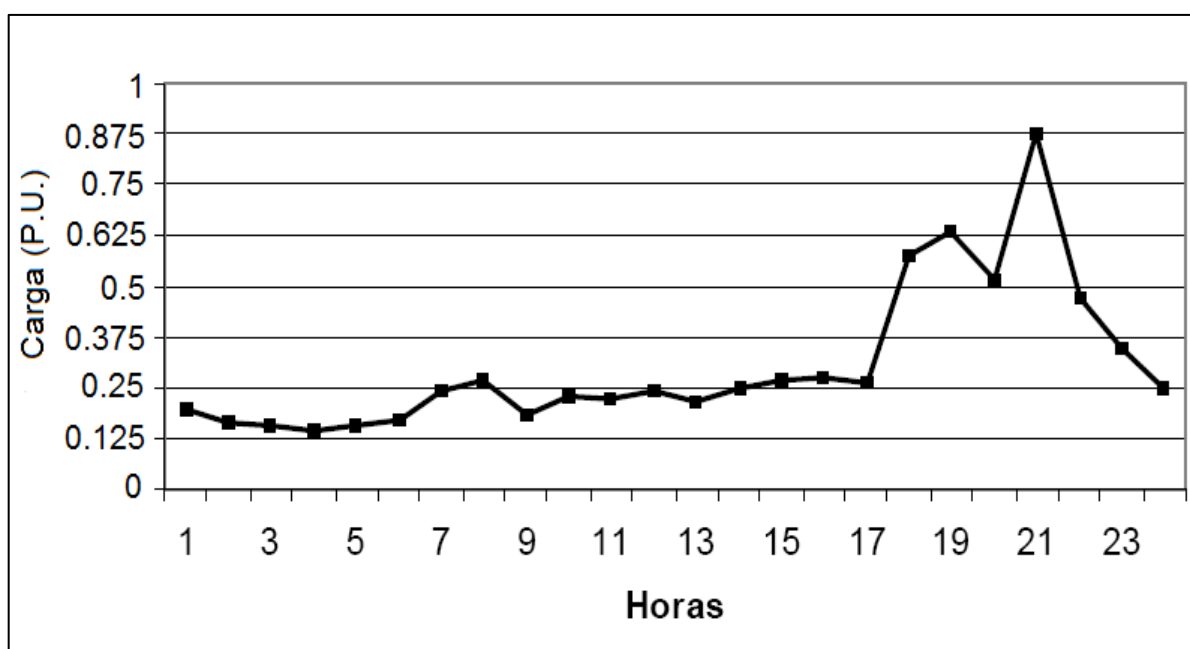


Figura 2: Curva de Carga diária residencial

Fonte: FRANCISQUINI, 2006.

Utilizando o modelo especificado neste projeto, além das vantagens já mencionadas, pode-se obter uma redução do consumo de energia elétrica em horário de ponta, aliviando, desta forma, o sistema de distribuição de modo com que este fique menos sobrecarregado, considerando, para isto, a utilização do sistema proposto em larga escala.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estruturação do trabalho é constituída por quatro seções. Na primeira seção, além das referências introdutórias, são apresentados alguns conceitos que justificam e caracterizam os objetivos do trabalho.

A segunda seção trata de apresentar os vários sistemas de aquecimento da água destinada ao banho. Além de demonstrar as vantagens e desvantagens de cada sistema, esta seção se preocupa em salientar o princípio básico de funcionamento e pontos característicos dos mesmos.

A terceira seção consiste na apresentação do modelo de aquecimento proposto. Nesta seção são abordados todos os elementos do protótipo, desde um estudo comparativo entre os meios de aquecimento, justificando-se a inclusão de cada sistema no modelo proposto, até a apresentação da lógica de controle e conceitos de eletrônica utilizados para a criação do misturador automatizado. As etapas construtivas do protótipo também são abordadas por esta seção.

A quarta seção é responsável por mostrar os resultados e conclusões do trabalho. Nesta seção são apresentadas as conclusões gerais e os resultados provenientes dos testes do aquecedor solar construído e da lógica de controle implementada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Atualmente existem várias alternativas para o aquecimento da água destinada ao banho que podem substituir ou complementar o uso da energia elétrica. Uma das alternativas, existentes no Brasil, é o aquecedor solar que consiste, basicamente, na utilização do calor do sol para aquecer a água. Sua instalação exige certo esforço financeiro, pois é necessário construir toda a estrutura, se a casa ainda não a possui. É preciso instalar as placas coletoras, responsáveis por captar o calor dos raios solares e o *boiler* que armazenará a água aquecida (BARBOSA, 2010).

O ajuste da temperatura em um aquecedor solar, geralmente, é manual, ou seja, se controla a partir de torneiras o fluxo de água quente e fria que irá sair no chuveiro. Isto gera certo desperdício de água, o que pode ser corrigido por alguns modelos de misturadores de água automatizados, que serão mais bem apresentados na seção 2.2.

Existem sistemas que utilizam os aquecedores solares em conjunto com o aquecedor elétrico. Estes sistemas, denominados híbridos, devido ao fato de utilizar mais de um meio de aquecimento de água, reduzem o desperdício de água, pois aquecem a água até que a água quente do *boiler* chegue ao chuveiro, e contribuem, também, em dias nublados e frios cujo calor para aquecer a água por meio do aquecedor solar é reduzido (DIAS, 2009).

Outra possível alternativa é o uso dos aquecedores a gás, porém seu funcionamento também depende da instalação de uma estrutura específica. O aquecimento pode ser feito por acumulação ou passagem, sendo que este último tipo só funciona no momento em que a pessoa vai tomar banho e o aciona, pois a água passa por tubos ao redor da câmara de combustão movida a gás e então é aquecida (BARBOSA, 2010).

Um sistema que vem gerando bastante repercussão é o chamado reaproveitador de calor que recebe este nome devido ao fato de seu funcionamento consistir em aproveitar, a partir de troca de calor, a temperatura da água já usada no banho para aquecer a água da tubulação antes de ir para o chuveiro. Seu uso reduz, consideravelmente, a potência do chuveiro necessária para aquecer a água até uma

temperatura ideal para banho (ANDREONI et al., 2009). Cada sistema de aquecimento será abordado, de forma detalhada, pelas subseções seguintes.

2.1. AQUECEDOR SOLAR

Um sistema básico de aquecimento de água por energia solar é composto de coletores solares, também chamados de placas coletoras, e reservatório térmico, também chamado de *boiler*. A figura 3, a seguir, feita no software da Google *SketchUp*, representa o sistema completo de um aquecedor solar.

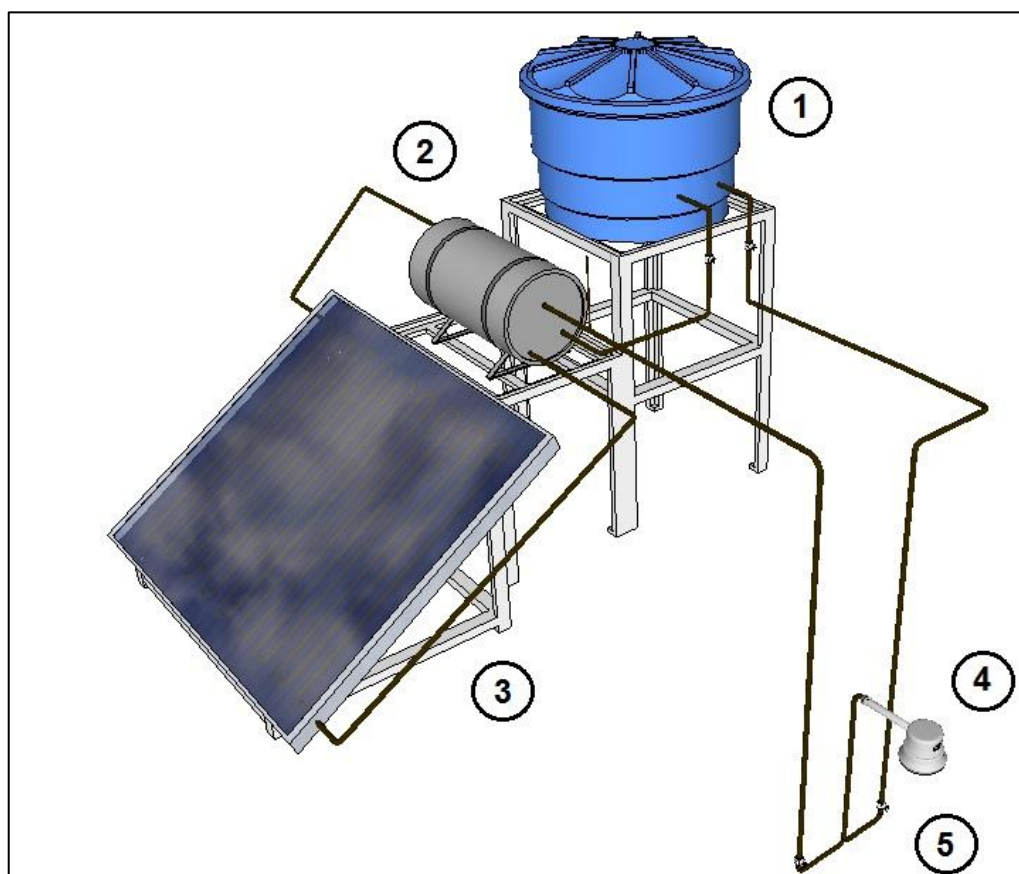


Figura 3: Aquecedor Solar.

Onde:

- 1- Caixa d'água;
- 2- *Boiler* (reservatório térmico);

- 3- Coletores e serpentina;
- 4- Chuveiro;
- 5- Torneiras para regulação da temperatura da água.

As placas coletoras são responsáveis pela absorção da radiação solar. O calor proveniente do sol, captado pelas placas do aquecedor solar, é transferido para a água que circula no interior de suas tubulações. O *boiler* é um recipiente térmico para armazenamento e conservação da água aquecida. Desta forma, a água é mantida quente no *boiler* até o momento do consumo da mesma. A caixa de água fria é responsável por alimentar o reservatório térmico do aquecedor solar, mantendo-o sempre cheio.

Pode-se dizer que o *boiler* funciona como uma caixa d'água especial capaz de manter quente a água armazenada no aquecedor solar. Estes *boilers* são cilindros feitos, geralmente, de cobre, inox, ou polipropileno e depois recebem um isolante térmico. Pode-se utilizar para redução de custos, a própria caixa d'água como reservatório térmico, porém sua capacidade de isolação é reduzida em relação aos reservatórios convencionais, fator negativo que pode ser melhorado utilizando camadas de material com isolação térmica como, por exemplo, o isopor, para revestimento da caixa. O *boiler* pode ser instalado acima do telhado (externamente) ou abaixo do telhado (internamente). Caso o *boiler* esteja instalado embaixo do telhado, este estará sujeito a menos intervenção climática, ou seja, independente do clima, o reservatório terá, praticamente, sempre a mesma capacidade de isolação térmica.

Em sistemas convencionais, a água circula entre as placas coletoras e o *boiler* através de um processo natural, denominado termossifão. Neste sistema, a água dos coletores fica mais quente e, conseqüentemente, menos densa que a água do reservatório. Assim sendo, a água fria empurra a água quente criando a circulação. A circulação da água também pode ser feita através de moto-bombas em um processo chamado de circulação forçada que, normalmente, é utilizado em piscinas e sistemas de grandes volumes.

Quando os raios do sol atravessam o vidro da tampa do coletor, estes aquecem as aletas, que são feitas de materiais metálicos, tais como o cobre ou

alumínio, e pintadas com uma tinta especial e escura para ajudar na absorção máxima da radiação solar. O calor passa então das aletas para a tubulação (serpentina) fazendo com que a água que está dentro da serpentina esquente e siga direto para o *boiler* do aquecedor solar da forma especificada pelo método de circulação utilizado.

O número de placas coletoras a serem utilizadas em uma instalação depende do tamanho do *boiler*, mas pode variar, também, de acordo com o nível de insolação da região ou até mesmo de acordo com as condições da instalação. No dimensionamento do aquecedor solar é preciso atentar à quantidade de pessoas que irão utilizar o sistema diariamente, a duração média e a quantidade de banhos diários, quantos serão os pontos de uso de água quente e assim por diante. Para garantir que nunca haverá falta de água quente, todo aquecedor solar traz um sistema auxiliar de aquecimento. E quando o tempo fica muito nublado ou chuvoso por vários dias, ou quando a casa recebe visitas e o número de banhos fica acima da quantidade especificada no dimensionamento inicial, o sistema auxiliar, que pode ser a energia elétrica ou a gás, entra em funcionamento para garantir a temperatura ideal requerida pelo consumidor (SOLETROL).

No entanto, analisando o nível de insolação do Brasil, o sistema auxiliar de aquecimento é necessário apenas em alguns dias por ano. A figura 4 mostra, de acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2005, adaptado de TIBA et al., 2000) a média anual do nível de radiação solar diária no Brasil (em MJ/ m². dia). Na figura 5 pode-se verificar a quantidade de horas em que existe a incidência dos raios solares.

2.2. MISTURADOR AUTOMÁTICO

Trata-se de um aparelho mecatrônico que faz o ajuste automático da temperatura da água que sai do misturador. O misturador automático proporciona redução significativa do consumo de água, pois é preciso acionar apenas uma

torneira (registro) para se obter a água na temperatura escolhida com rapidez, eficiência e conforto.

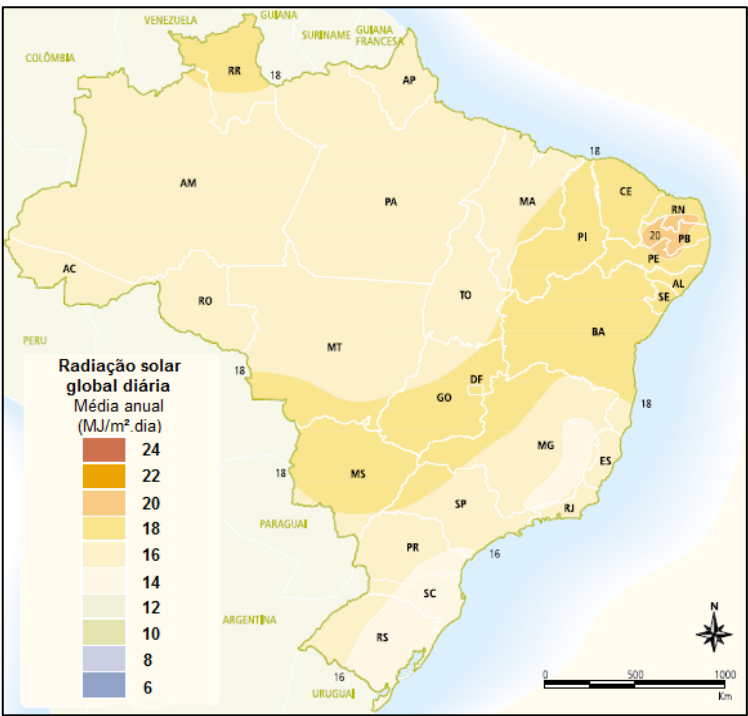


Figura 4: Radiação solar global diária, média anual (MJ/ m². dia).
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000 (adaptado pela ANEEL, 2005).

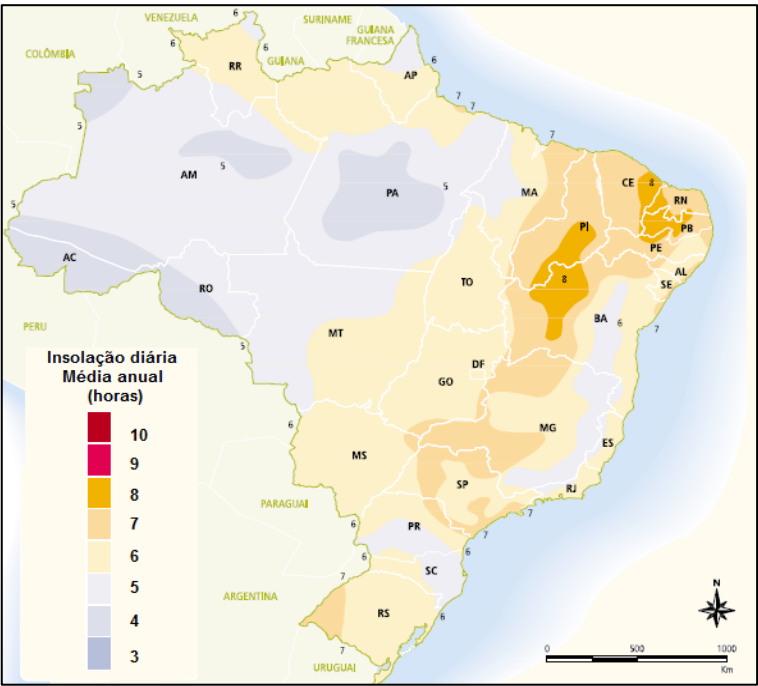


Figura 5: Insolação Diária, Média Anual (horas).
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000 (adaptado pela ANEEL, 2005).

Este tipo de misturador surge para complementar os sistemas de aquecimento solar e seu uso causa um impacto na conta de luz desprezível, já que o equipamento fica a maior parte do tempo desligado (*stand by*). A figura 6, a seguir, mostra um modelo de misturador automático, que se encontra no mercado brasileiro, divulgado pelo site do portal Bom Comércio (ARTEN, 2012), cujo preço de aquisição gira em torno de 549,00 reais (preço sugerido pela empresa). Sua instalação pode ser feita tanto em banheiros novos, como em instalações antigas, porém seu custo pode ser inviável para a população de baixa renda.



Figura 6: Misturador Automático.

Fonte: ARTEN, 2012.

2.3. AQUECEDOR A GÁS

O aquecedor a gás possui um queimador semelhante ao de um fogão, envolvido por uma espécie de serpentina onde circula a água que irá ser aquecida. Ao ser acionado, este fogo é controlado automaticamente por um pressostato que

possui um sensor na rede de água e uma válvula que controla a passagem do gás para o queimador. Quanto mais fria a água, mais intenso é o fogo do queimador para permitir que esta água se aqueça e atinja a temperatura ideal previamente escolhida.

Existem dois tipos de aquecedores a gás, por passagem e por acumulação. No aquecedor por passagem a água fria passa por um sistema de serpentina distribuída ao redor de uma câmara de combustão. Desta forma a água é aquecida gradualmente, à medida que passa pelo aparelho. Neste sistema, uma vez que o consumo da água é imediato, não há necessidade de o aparelho ter um reservatório de armazenamento. Já os aparelhos por acumulação, conhecidos como *boilers*, necessitam de um reservatório para armazenar a água, ou seja, cada aparelho apresenta um cilindro vertical onde a água fica armazenada e é aquecida por uma chama produzida em um tubo no centro do cilindro. O controle do aquecimento da água é feito por meio de um termostato que mantém automaticamente a temperatura dentro dos limites estabelecidos, enquanto que a perda do calor é controlada pelo revestimento térmico existente no cilindro. Com este sistema de aquecimento o consumo da água pode ser imediato, de acordo com a regulagem, ou para consumo posterior já que a chama fica acesa o tempo todo (CLIQUE ARQUITETURA, 2012).

2.4. CHUVEIRO HÍBRIDO

O chuveiro denominado como híbrido é um sistema composto de aquecedor solar e chuveiro elétrico. A vantagem desta opção é que ela faz uso da energia solar e, quando não há sol, a água destinada ao banho é aquecida através da resistência de um chuveiro elétrico, ou seja, não é preciso aquecer todo o reservatório de água, como acontece com os modelos tradicionais de aquecedores.

Com o sistema híbrido, pode-se esperar que a água contida no *boiler* do aquecedor solar chegará aquecida ao consumidor sem desperdiçar a água residual, que está fria dentro das tubulações. Isto ocorre porque o sistema aciona a

resistência elétrica neste momento e a retira do sistema, gradativamente, à medida que esta água adquire uma temperatura ideal para banho (DIAS, 2009).

2.5. REAPROVEITADOR DE CALOR

O reaproveitador de calor tem a finalidade de reutilizar a energia térmica da água usada durante o banho, reduzindo cerca de 34% a energia necessária para o aquecimento da água, independentemente da fonte de energia utilizada. Ao abrir o registro, através da conexão instalada na parede, a água é desviada por meio de mangueiras especiais e conduzida até a plataforma, fixada no chão, entrando em um trocador de calor. Após o processo de troca de calor a água sobe, novamente, até o chuveiro sendo aquecida pelo mesmo que pode ser elétrico, a gás, com aquecedor solar, etc. Alguns segundos depois a água da caixa, inicialmente fria, começa a entrar em contato com a água do banho (quente), de forma indireta, por meio de um eficiente trocador de calor, absorvendo a energia térmica da água, que antes era desperdiçada e jogada no ralo. A água chega ao chuveiro pré-aquecida e faz com que este utilize uma potência menor para aquecer a água até a temperatura desejada, proporcionando, assim, economia de energia sem reduzir o conforto do banho.

Em nenhum momento a água limpa entra em contato com a água suja, pois o aparelho reaproveita apenas o calor da água já utilizada. O aparelho é fabricado em plástico e alumínio, mas não utiliza corrente elétrica ou mesmo dispositivos eletrônicos, descartando qualquer possibilidade de choque ou mesmo passagem de corrente elétrica, o que garante ao usuário toda a segurança e conforto durante o banho.

A instalação deste tipo de reaproveitador é bastante simples e não requer reforma, uma vez que pode ser instalado na parte externa da parede. A circulação da água ocorrerá naturalmente se a altura da caixa d'água em relação ao chuveiro for superior a 1,6 metros. Em casos que esta distância é inferior a este valor pode-se

instalar um pressurizador para acarretar em uma circulação correta da água do reaproveitador.

Além da aplicação mencionada, o reaproveitador pode funcionar como um excelente tapete antiderrapante, conciliando *design* e praticidade em um único aparelho inteligente e ecológico (ANDREONI et al., 2009). A figura 7, feita no software da Google *SketchUp*, mostra o modelo esquemático de um reaproveitador de calor.

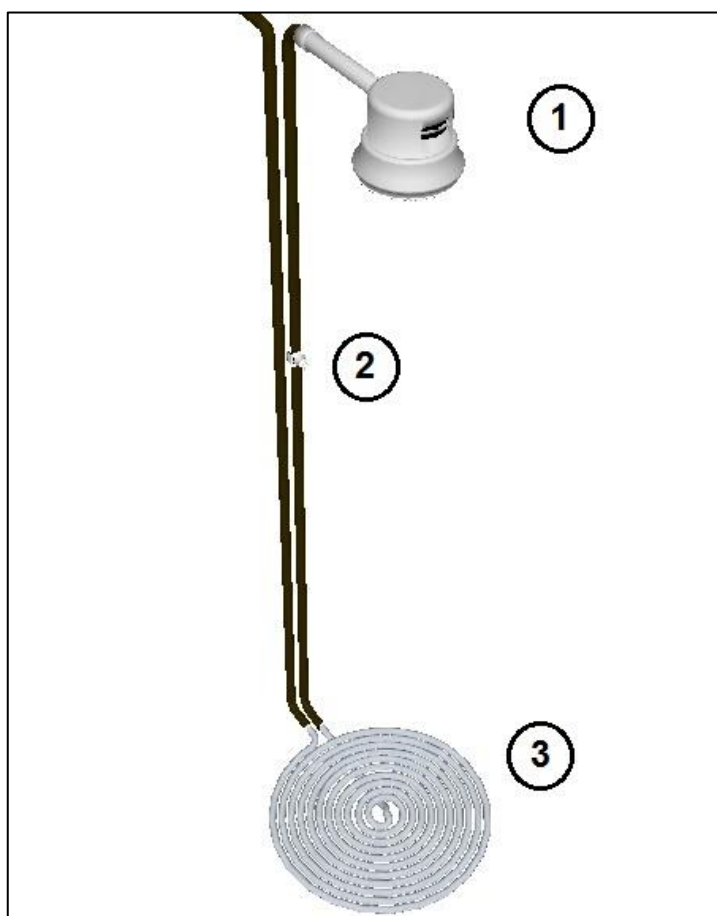


Figura 7: Reaproveitador de Calor.

Onde:

- 1- Chuveiro;
- 2- Registro;
- 3- Plataforma de troca de calor.

3. MODELO PROPOSTO

A figura 8, a seguir, feita no software da Google *SketchUp*, representa o esquema do modelo de aquecimento de água proposto. Este faz o uso de vários sistemas, a fim de reduzir o consumo de energia.

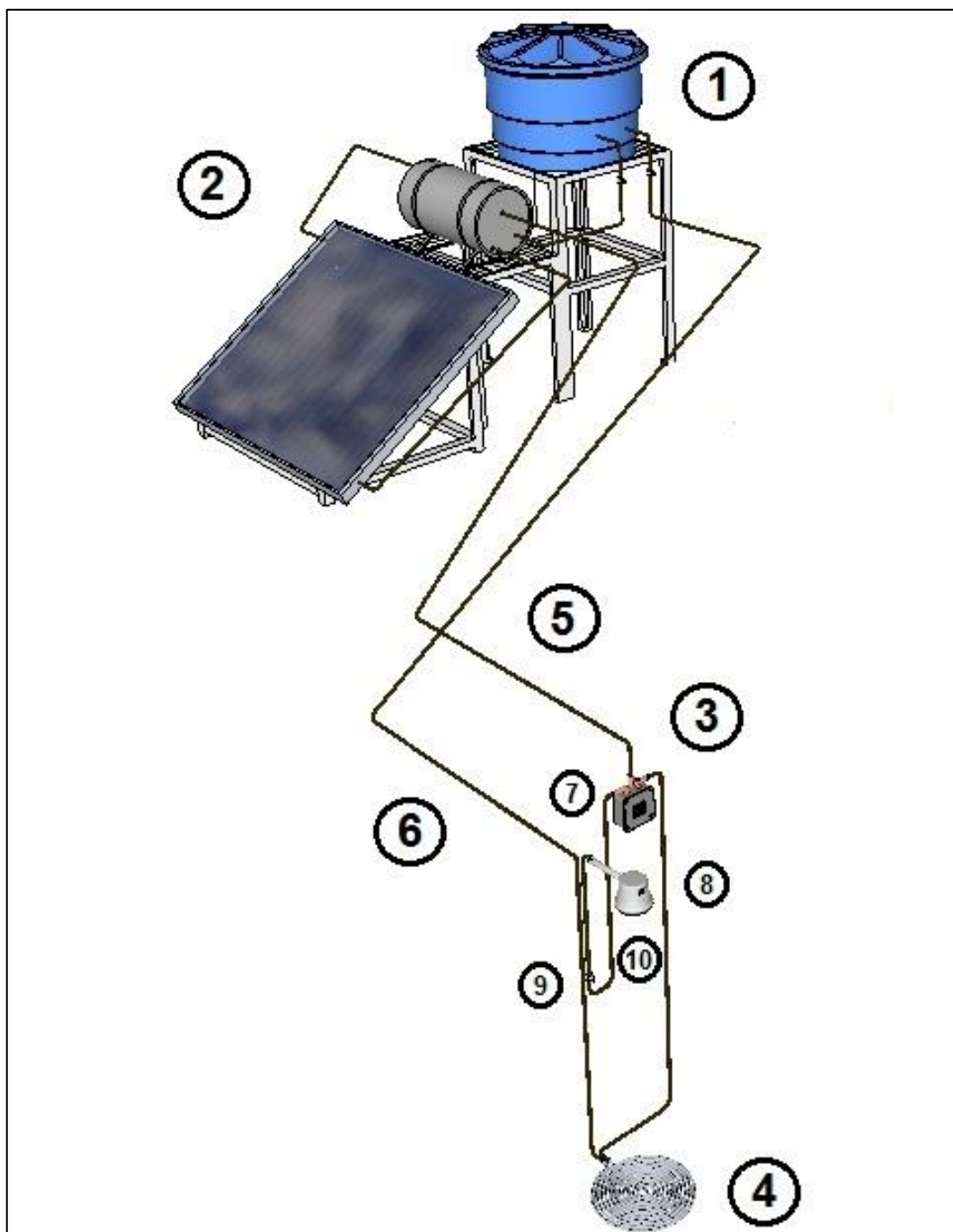


Figura 8: Esquema do modelo proposto.

Onde:

- 1- Caixa d'água;
- 2- Sistema de aquecedor solar;
- 3- Misturador de água automático;
- 4- Recuperador de calor;
- 5- Saída de água quente proveniente do boiler do aquecedor solar;
- 6- Saída de água fria proveniente da caixa;
- 7- Saída de água temperada proveniente do misturador automático;
- 8- Saída de água morna proveniente do recuperador de calor;
- 9- Registro;
- 10- Chuveiro.

Os sistemas que compõe o modelo proposto são: o sistema de aquecedor solar, o sistema de reaproveitamento de calor e o misturador automático para controle da temperatura, além de um chuveiro elétrico para esquentar a água da tubulação até que a água proveniente do misturador atinja a temperatura requerida.

3.1. COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS

Segundo estudos elaborados pelo Centro Internacional de Referência em Reuso de Água (CIRRA) (citado por ROCHA, 2010), entidade vinculada à Poli-USP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), o chuveiro híbrido composto de aquecedor solar e chuveiro elétrico é o mais eficiente do ponto de vista econômico. A explicação para sua maior eficiência quando comparado com o chuveiro elétrico comum, aquecedor a gás, aquecedor solar e aquecedor de acumulação elétrico (*boiler*), é a relação de baixo consumo de água e de energia elétrica do sistema.

Para a realização do estudo, foram instalados seis pontos de banho no vestiário dos funcionários da USP, sendo dois pontos com chuveiros elétricos, um com aquecedor a gás, um aquecedor solar, um híbrido e um aquecedor de acumulação elétrico (*boiler*). Entre janeiro e dezembro de 2009, os funcionários

voluntários, divididos em grupos, tomaram banhos sem nenhum tipo de restrição sobre abertura do registro, tempo de banho e posição da chave seletora de temperatura nos pontos determinados. A cada três meses, os grupos passaram de um ponto para outro, sendo que os consumos de água, energia elétrica e gás foram medidos por dispositivos especiais e enviados aos computadores do CIRRA.

A seguir, estão apresentadas cinco tabelas elaboradas a partir dos estudos realizados pelo CIRRA. Nestas tabelas são apresentados dados de custo, em diferentes situações, dos sistemas de aquecimento de água estudados, utilizando-os como meio de comparação com o chuveiro elétrico. A tabela 3 apresenta os custos de aquisição e instalação dos equipamentos, a tabela 4 apresenta o desperdício de água até atingir a temperatura ideal, a tabela 5 apresenta o consumo de água de cada sistema por minuto, a tabela 6 apresenta o custo total de um banho de aproximadamente oito minutos e a tabela 7 apresenta o custo mensal para uma família de quatro pessoas, considerando que cada uma tome um banho de oito minutos por dia.

Tabela 3: Custo de aquisição e instalação.

Sistema de aquecimento de água	Custo de aquisição (em R\$)	Custo de instalação (em R\$)	Custo total (em R\$)	Varição (em relação ao chuveiro elétrico)
Chuveiro elétrico	31	0	31,00	-
Solar	3695	350	4045	+ 13048%
Gás	825	120	945	+ 3048%
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	688	200	888	+ 2865%
Boiler Elétrico	1505	350	1855	+ 5984%

Fonte: Pesquisa CIRRA, 2009.

Tabela 4: Perda de água até atingir a temperatura ideal (4 banhos por dia).

Sistema de aquecimento de água	Perda de água (litros)		
	Um dia	Um mês	Um ano
Solar ou boiler elétrico	20	- 600	- 7200
Gás	18	- 540	- 6480

Fonte: Pesquisa CIRRA, 2009.

Tabela 5: Consumo de água por minuto

Sistema de aquecimento de água	Consumo de água (em litros por minuto)	Variação (em relação ao chuveiro elétrico)
Chuveiro elétrico	4,2	
Solar	8,4	+ 200%
Gás	8,7	+ 207%
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	4,1	- 2.3%
Boiler	8,5	+ 205%

Fonte: Pesquisa CIRRA, 2009.

Tabela 6: Custo por banho de oito minutos (água, energia elétrica e gás).

Sistema de aquecimento de água	Custo (em R\$)	Variação (em relação ao chuveiro elétrico)
Chuveiro elétrico	0,30	
Solar	0,46	+ 53.3%
Gás	0,59	+ 96.6%
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	0,27	- 10%
Boiler	1,04	+ 246.6%

Fonte: Pesquisa CIRRA, 2009.

Tabela 7: Custo mensal para uma família de quatro pessoas.

Sistema de aquecimento de água	Custo (em R\$)	Variação (em relação ao chuveiro elétrico (R\$))
Chuveiro elétrico	36,00	-
Solar	55,20	+ 19.2
Gás	70,80	+ 34.8
Híbrido (solar + chuveiro elétrico)	32,40	- 3.6
Boiler	124,80	+ 88.8

Fonte: Pesquisa CIRRA, 2009.

De acordo com os dados expressos nas tabelas, um banho de oito minutos custa em média, considerando o consumo de água e energia elétrica, R\$ 0,27 utilizando um chuveiro híbrido e R\$ 0,30 utilizando um chuveiro elétrico. Este mesmo banho tem custo total de R\$ 0,46 (53,3% a mais do que o chuveiro elétrico) com aquecedores solares tradicionais, R\$ 0,59 (96,6% mais caro) com os aquecedores a gás e R\$ 1,04 (246,6% a mais) com o *boiler* elétrico.

Os dados ainda mostram a média anual do consumo de água dos sistemas estudados, sendo que o chuveiro híbrido é o único com média melhor em relação ao chuveiro elétrico com um consumo de 4,1 l/min, ou seja, um consumo 2,3% menor. O aquecedor a gás obteve uma média de 8,7 l/min, 207% a mais que o consumo do chuveiro elétrico, enquanto que a média do sistema de aquecedor solar foi de 8,4 l/min, 100% a mais de consumo e o *boiler* elétrico teve uma média de 8,5 l/min, com consumo 102% maior. Este consumo excessivo de água, em relação ao chuveiro elétrico, é dado, principalmente, pela demora no ajuste de temperatura da água.

Utilizando os dados obtidos durante a pesquisa, foi possível criar gráficos comparativos entre os sistemas estudados de acordo com a quantidade de banhos, com duração de 8 minutos, tomados. Os gráficos 1 e 2 são referentes ao custo total de cada banho, levando em consideração os custos de aquisição e instalação de cada sistema. Os gráficos 3 e 4 representam o consumo de água de acordo com a quantidade de banhos. Sendo que os gráficos 2 e 4 foram criados para uma melhor visualização do comparativo entre o sistema híbrido e o chuveiro elétrico.

Gráfico 1: Comparativo de custos entre os sistemas de aquecimento.

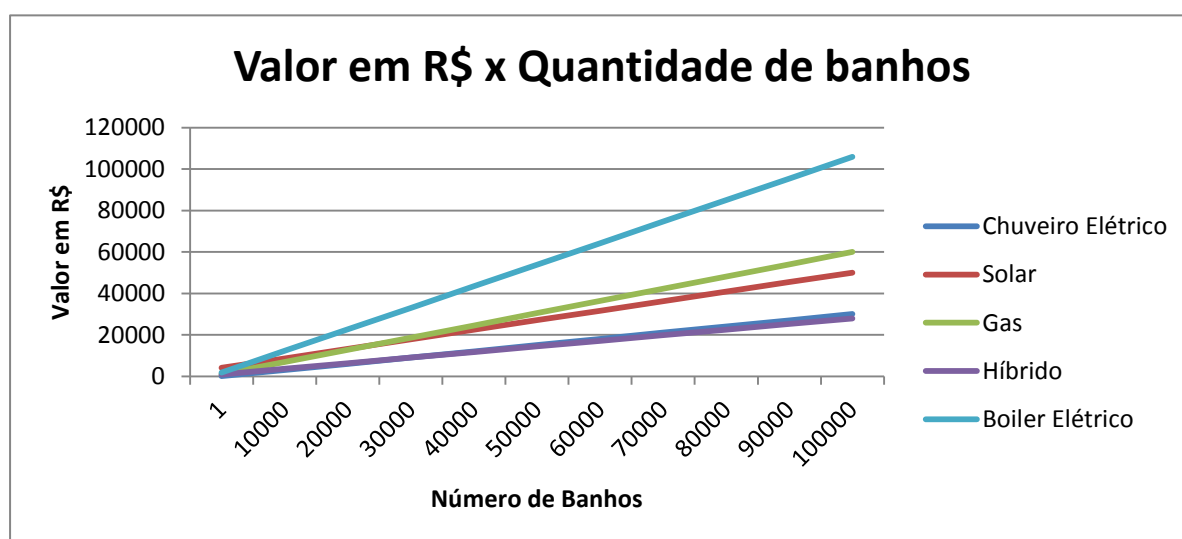


Gráfico 2: Comparativo de custos entre o chuveiro elétrico e o híbrido.

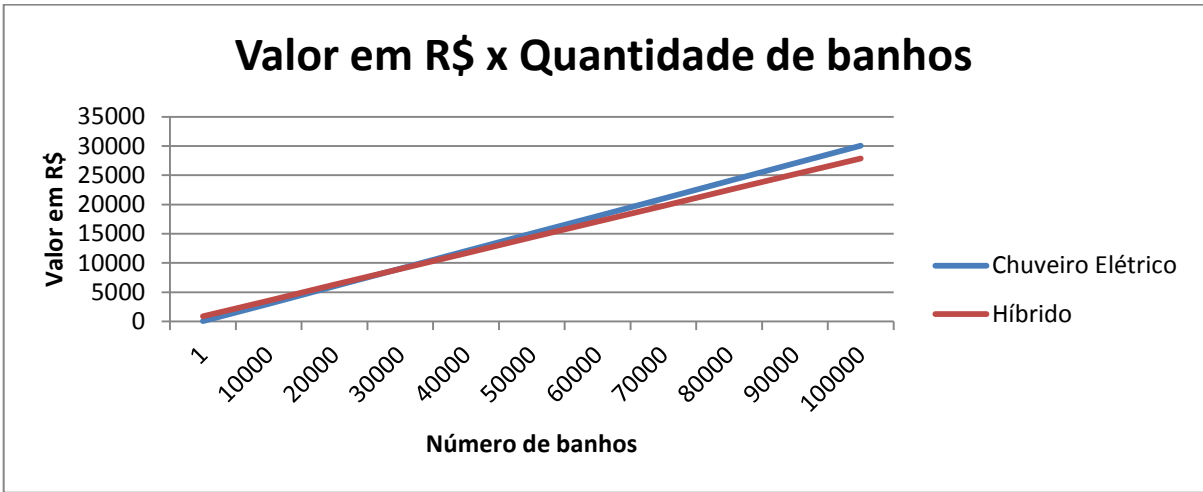


Gráfico 3: Comparativo de consumo de água entre os sistemas de aquecimento.

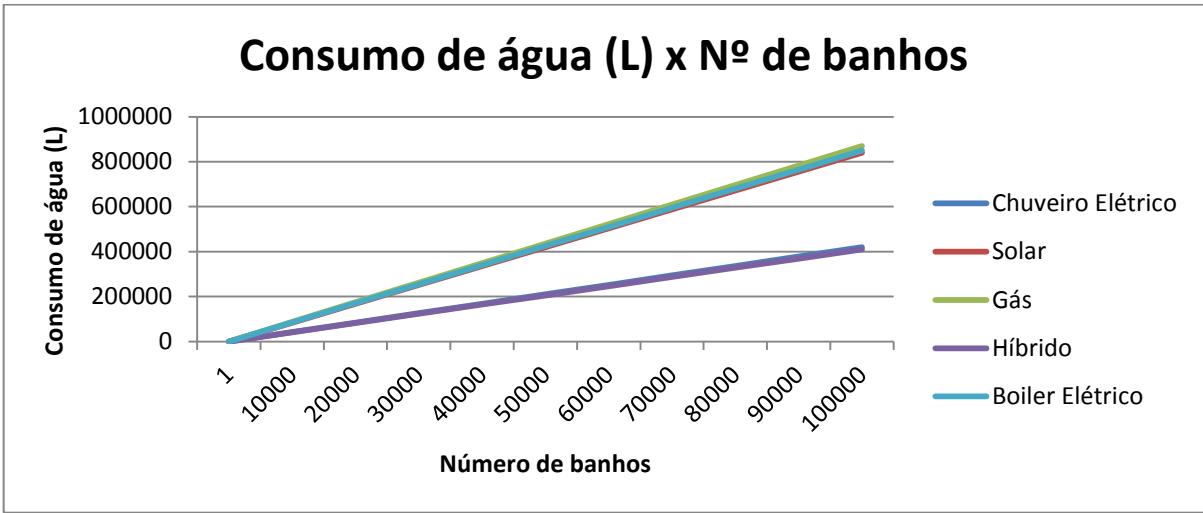
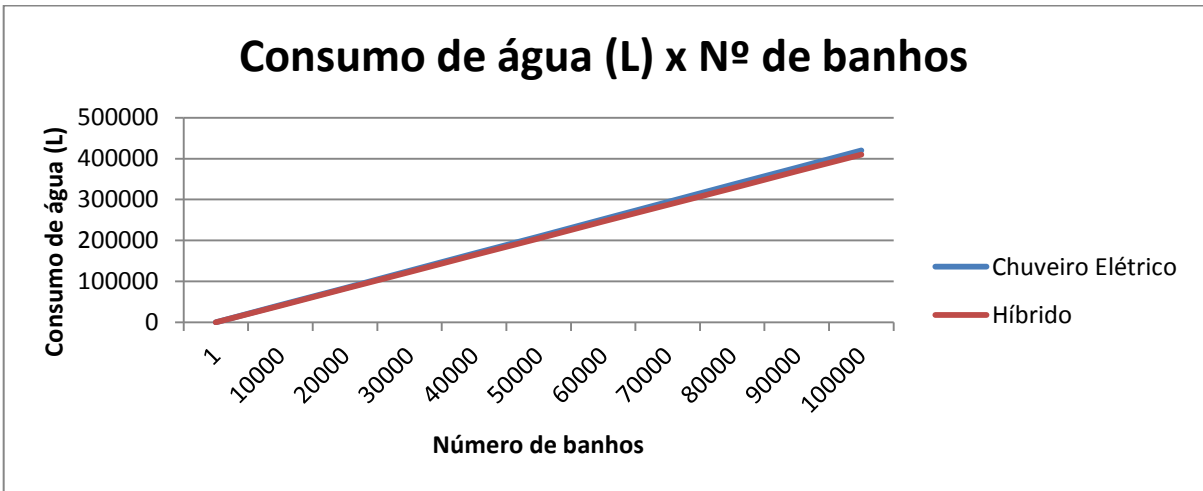


Gráfico 4: Comparativo de consumo de água entre o chuveiro elétrico e o híbrido.



A partir dos gráficos pode-se notar que, dentre os sistemas abordados, o único que apresenta resultado positivo em relação ao chuveiro elétrico é o sistema híbrido. Tanto na questão de consumo de energia, como no gasto com água o sistema apresenta vantagem em relação ao chuveiro elétrico. Seu custo de instalação e aquisição é mais elevado, porém este custo inicial é compensado com a quantidade de banhos realizados.

3.2. CONTROLE ELETRÔNICO DO CHUVEIRO

Para a realização do controle automatizado do chuveiro é necessário um estudo referente a alguns conceitos de eletrônica. A ideia do controle automatizado surge a partir da necessidade de controlar, simultaneamente, a vazão da água proveniente do aquecedor solar e do reaproveitador de calor com o intuito de alcançar, o mais rápido possível, a temperatura desejada, não ocorrendo, deste modo, o desperdício de água que existe no ajuste manual das vazões.

3.2.1. MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são componentes versáteis constituídos por processador, pinos de entrada/saída e memória. Através de programação pode-se controlar suas saídas, tendo como referência suas entradas ou um programa interno. Seu modo de operação irá variar de acordo com a necessidade, apresentando-se como uma solução viável em função do baixo custo e facilidade de uso. Um microcontrolador pode realizar desde o controle da velocidade e posição de um guindaste até o controle das lâmpadas decorativas de uma árvore de natal (PEREIRA, 2003).

O Arduino Mega 2560 é uma plataforma de prototipagem eletrônica que pode ser usada no controle do chuveiro. Esta plataforma consiste de uma placa de

microcontrolador baseada no ATmega2560 fabricado pela ATMEL. Seu uso permite o desenvolvimento do controle de sistemas interativos, de baixo custo e boa acessibilidade, além de dispor de material (software, bibliotecas e hardware) *open-source*, ou seja, pode ser reproduzido e usado por todos sem a necessidade de pagamento de direitos autorais.

A plataforma é constituída por 54 pinos de entrada/saída digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset. Sua construção, portanto, contém todos os periféricos necessários para dar suporte ao uso do microcontrolador. A tabela 8 mostra a lista de especificações do Arduino Mega 2560.

Tabela 8: Lista de Especificações do Arduino Mega 2560.

Arduino Mega 2560	
Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de Alimentação	5 V
Tensão recomendada de entrada	7 - 12 V
Tensão limite de entrada	6 - 20 V
Pinos digitais de I/O	54 (Sendo 14 PWM)
Pinos de entrada analógica	16
Corrente contínua por pino de I/O	40 mA
Corrente contínua para o pino de 3.3 V	50 mA
Memória Flash	256 KB (Sendo 8 KB utilizados pelo carregador de inicialização)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade de Clock	16 MHz

Fonte: www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560. Acesso: 15/01/2014.

O Arduino Mega 2560 pode ser alimentado por uma conexão USB ou com uma fonte externa que pode ter valores de tensão compreendidos entre 6 e 20 volts. Caso a alimentação seja feita com menos de 7 volts a placa pode ficar instável, de

modo que os pinos de 5 volts forneçam uma tensão menor do que especificado. Entretanto, ao alimentar a placa com mais de 12 volts, o regulador de tensão pode aquecer a uma temperatura capaz de danificar a placa. A faixa recomendável, de acordo com as especificações, é de 7 a 12 volts.

Cada um dos 54 pinos digitais pode ser usado como entrada ou saída, sendo que 14 destes pinos podem ser utilizados como PWM para controle do ciclo ativo de algum elemento DC (este tipo de controle será descrito detalhadamente no próximo tópico). As 16 entradas analógicas possuem uma resolução de 10 bits, ou seja, podem atribuir valores de 0 a 1023 para tensões que variam de 0 a 5 volts ou de 0 a uma referência analógica desejada. A figura 9 ilustra a parte frontal de um Arduino Mega 2560 (ARDUINO).

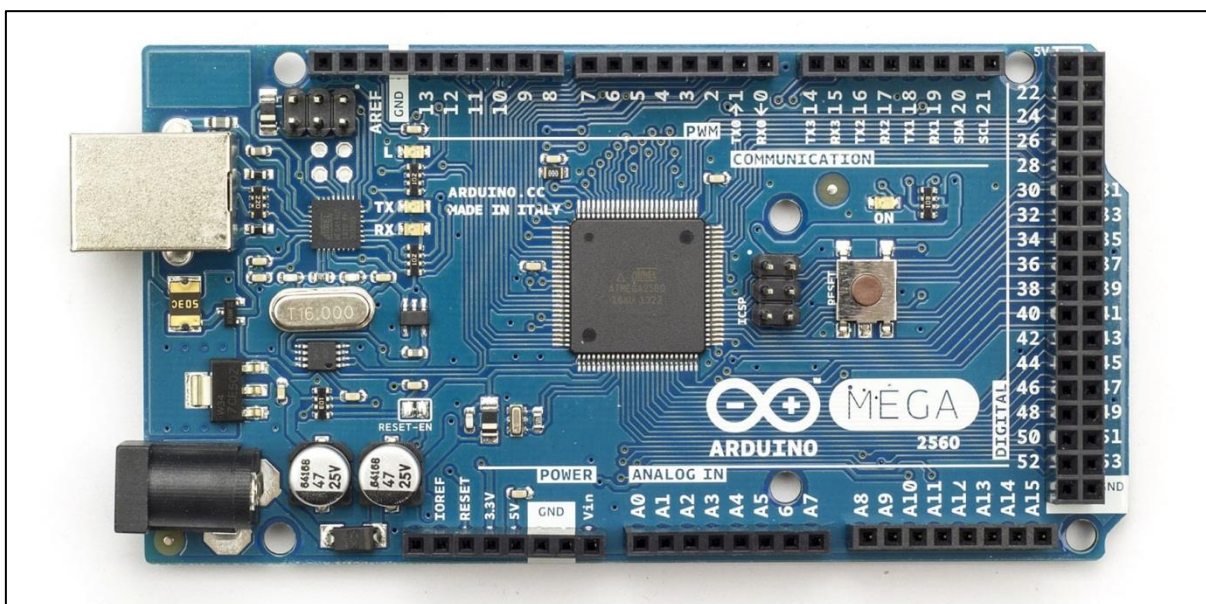


Figura 9: Arduino Mega 2560.

Fonte: www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560. Acesso: 15/01/2014.

3.2.2. MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO (PWM)

A Modulação por Largura de Pulso (PWM - *Pulse Width Modulation*) é um recurso muito utilizado para o controle de motores e conversores CC-CC em geral. A

partir desta modulação é possível gerar um sinal analógico, apesar de sua saída ser um sinal digital que assume apenas os níveis lógicos alto (5V) e baixo (0V).

A saída gerada é uma onda quadrada onde o período é fixo, ou seja, a frequência é constante, e o ciclo ativo (*duty-cycle*) da onda neste período é variável, considerando que a frequência de uma onda é definida como a quantidade de vezes que ela se repete no tempo e o período é cada pedaço dessa onda que irá se repetir. A figura 10 representa os conceitos de ciclo ativo de um PWM para alguns valores em porcentagem do mesmo.

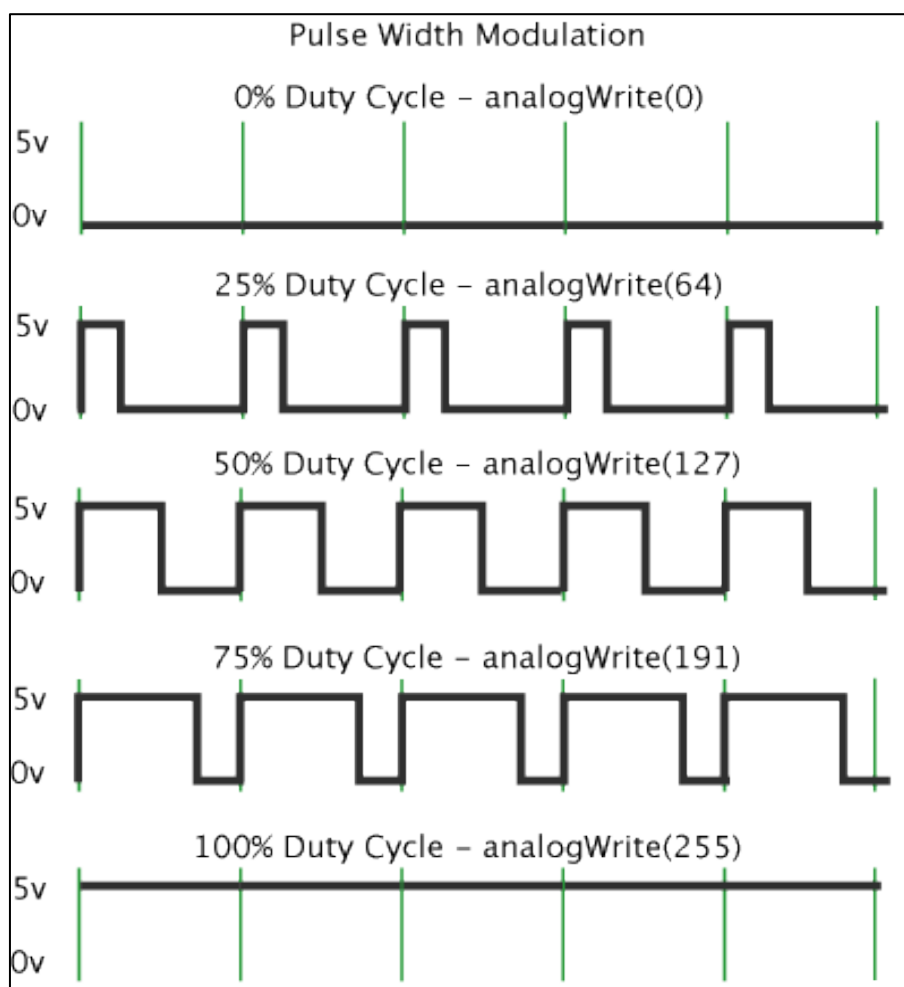


Figura 10: Ciclo ativo de um PWM.

Fonte: www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM. Acesso em: 15/01/2014.

Sendo assim, o *duty-cycle* define o tempo de sinal ativo (nível lógico alto) em um período fixo, por exemplo, quando se tem um *duty-cycle* de 100%, existe um nível lógico alto por todo o período e para um *duty-cycle* de 50% têm-se que a

metade do período estará em nível lógico alto e a outra metade em nível lógico baixo (CEFET, 2008).

O Arduino Mega 2560 possui 14 portas geradoras de sinais PWM. Estes sinais são capazes de fazer o controle da vazão de água de cada sistema utilizado no chuveiro, uma vez que a vazão deve ser controlada por motores CC (bombas de água) conectados ao sistema de aquecimento solar e ao sistema de reaproveitador de calor. Sendo assim, uma vazão de água fixa será enviada, porém, haverá uma variação de qual sistema fornecerá maior vazão, de acordo com a temperatura requerida.

3.2.3. MOSFET IRF540

O MOSFET (MOS – metal óxido semicondutor e FET – transistor de efeito de campo) é um tipo de transistor usado como chave ou amplificador de sinais elétricos. Um MOSFET pode ser utilizado quando há a necessidade de acionar um *hardware* específico de maior potência, por exemplo, no controle de motores de passos, solenoides, relés, motores CC e vários outros dispositivos.

Os MOSFET's, em geral, possuem três terminais: *Gate*, *Source* e *Drain*. A corrente fornecida a um circuito de acionamento, que circulará entre os terminais *Source* e *Drain*, é controlada por uma tensão aplicada no terminal *Gate*. Quando o MOSFET está conduzindo este se comporta como uma resistência de baixo valor, permitindo comutar de forma eficiente correntes maiores do que as correntes de um circuito de comando. Existem, basicamente, dois tipos de MOSFET: o de canal N e o de canal P, entretanto, o princípio de funcionamento é o mesmo, variando apenas o modo de polarização.

Como a ideia do controle automatizado do chuveiro consiste no uso de bombas hidráulicas de corrente contínua para o ajuste da vazão de água dos sistemas de aquecimento, o uso de um MOSFET para isolar o circuito de comando se torna necessário, no caso o IRF540 cuja polarização é do tipo N. A figura 11, feita

no software *Fritzing*, corresponde a um exemplo de ligação de um IRF540 utilizando o Arduino para controle de um motor DC.

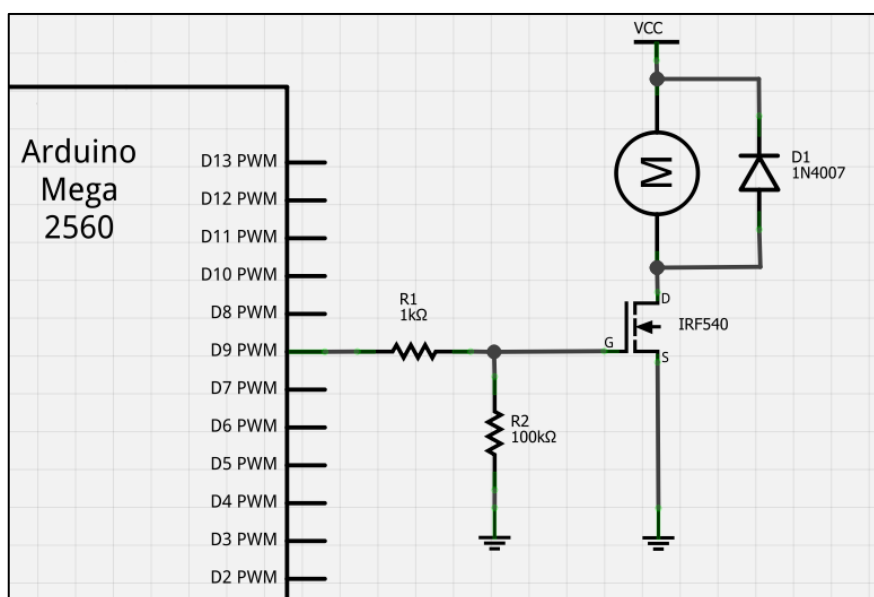


Figura 11: Exemplo de ligação de um IRF540 utilizando Arduino.

Como se pode notar o MOSFET é acionado através de uma saída PWM do Arduino, ou seja, ocorrerá neste caso um controle da tensão do motor DC através do princípio de ciclo ativo. O *Gate* não deve ficar em aberto para evitar a ocorrência de um acionamento indevido, portanto, no circuito acima existe o chamado resistor de *pull-down* (R2) para garantir o sinal de controle em nível baixo quando a saída do Arduino for zero. O diodo D1 é um diodo de roda livre usado para proteger o circuito durante o chaveamento da tensão devido ao fato de que quando o MOSFET é desativado a bobina do motor se opõe a variação da corrente, causando uma sobretensão, podendo ocasionar a queima de componentes, em outras palavras, o diodo proporciona um caminho alternativo para a passagem da corrente induzida (LABORATÓRIO DE GARAGEM, 2012).

3.2.4. RELÉS

Os relés são dispositivos utilizados para isolar partes de um circuito. Geralmente, separam a parte de potência, que pode ser em corrente alternada, da

parte de controle. Podem ser considerados um tipo de chave que é formada por lâminas acionadas pelo campo magnético de uma bobina.

Sendo assim, os relés são usados para ligar ou desligar circuitos de potência elevada em relação ao circuito de controle, utilizando valores baixos de tensão e corrente (LIMA, 2005). Considerando o controle do chuveiro, o uso de um relé permite conectar a resistência elétrica de um chuveiro nos terminais de carga do relé, sendo este acionado por um Arduino devidamente programado. A figura 13 simboliza o diagrama funcional de um relé.

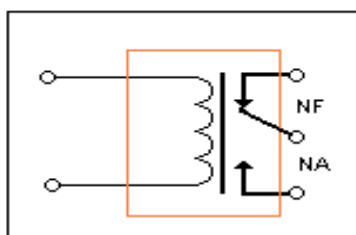


Figura 12: Simbologia de um Relé.

Fonte: LIMA, 2005.

O relé é composto por cinco terminais, sendo dois para seu acionamento e três para a carga. Quando o relé é acionado, a chave central muda sua posição de NF (normalmente fechado) para a posição NA (normalmente aberto). Deste modo é possível controlar quando a carga será alimentada com energia elétrica. A figura 13, feita no software *Fritzing*, mostra como um relé pode ser acionado utilizando uma saída digital do Arduino.

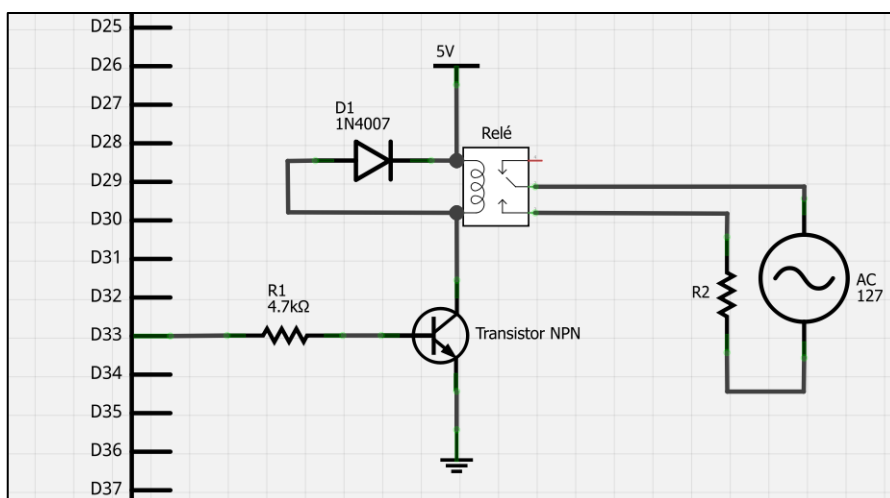


Figura 13: Acionamento de carga AC utilizando relé.

Como se pode notar o relé é acionado através de uma saída digital do Arduino. Esta saída passa por um transistor do tipo NPN para que tenha seu sinal amplificado a ponto de conseguir atracar o relé, fazendo-o, assim, mudar a posição de seus contatos. O diodo D1 é um diodo de roda livre para a proteção da bobina do relé que, neste caso, é alimentada por uma tensão contínua de 5 volts quando o sinal de saída do Arduino estiver em nível lógico alto. O resistor R2 está representando a resistência elétrica do chuveiro que deve ser alimentada pela rede elétrica somente quando for necessário.

3.2.5. *DISPLAY* LCD

Para realizar a escolha da temperatura desejada para o banho é necessário que se mostre o valor a ser selecionado de alguma maneira. Com o auxilio de um *display* alfanumérico de LCD é possível fornecer ao usuário uma referência de temperatura que pode ser alterada de acordo com sua necessidade e mostrada pelo *display*. Sendo assim, o usuário confirma a temperatura desejada e fica monitorando a temperatura que a água do chuveiro se encontra. A figura 14 mostra a imagem do *display* LCD FDCC1602E cuja estrutura é composta por 16 colunas e 2 linhas de caracteres de acordo com seu *datasheet*.



Figura 14: Display LCD FDCC1602E.

Pode-se notar que o display é constituído por 16 pinos cujas funções estão expressas pela tabela 9, de acordo com seu *datasheet*.

Tabela 9: Atribuição dos pinos do LCD FDCC1602E.

Pino	Símbolo	Função
1	Vss	GND
2	Vdd	Fonte de Alimentação
3	V0	Ajuste de Contraste
4	RS	Sinal de Registro de seleção
5	R/W	Leitura/gravação de dados
6	E	Sinal de Habilitação
7-14	DB0-DB7	Linha do barramento de dados
15(A)	LED+	Fonte de alimentação para BKL (+)
16(K)	LED-	Fonte de alimentação para BKL (-)

Fonte: *Datasheet* do LCD FDCC1602E.

O Arduino Mega 2560 possui uma biblioteca pronta, chamada de “LiquidCrystal.h”, destinada a auxiliar nas configurações e tratamento dos dados a serem enviados ao *display* LCD. Deste modo, basta incluir tal biblioteca, no código de programação do Arduino, e utilizar as funções referentes ao uso do *display*. A ligação com o Arduino é feita, de maneira simples, tendo como referência os pinos do LCD para que este seja configurado corretamente. A figura 15, feita no software *Fritzing*, mostra um exemplo de ligação de um *display* LCD com o Arduino.

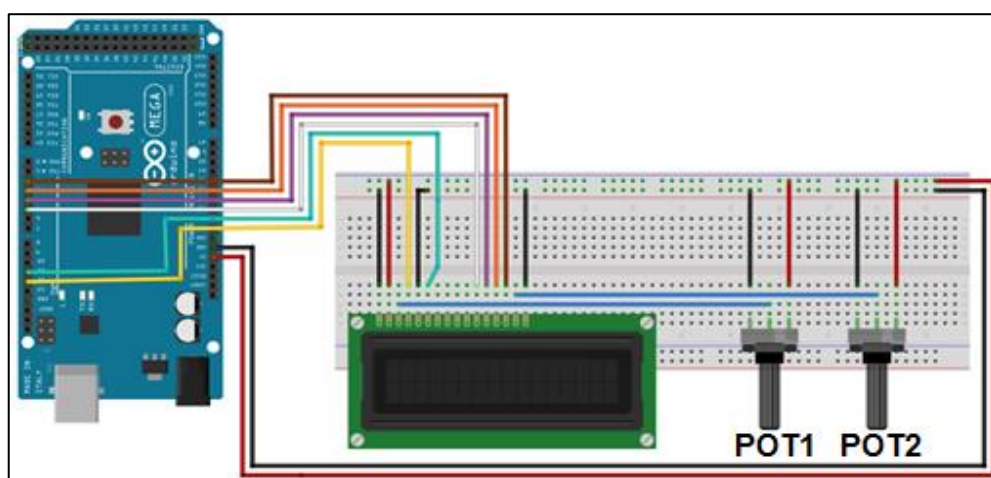


Figura 15: Exemplo de ligação de um display LCD com o Arduino.

O *display* LCD é alimentado pelos pinos do Arduino de 5 volts e GND, e sua configuração, dada pelo código do programa, define em quais portas do Arduino deve-se conectar cada pino do *display*. O potenciômetro POT1 tem a função de ajustar o contraste do *display*, uma vez que o POT2 ajusta o brilho de fundo do mesmo.

Para a utilização do sistema é preciso que existam teclas para a escolha e alteração do valor da temperatura do banho. Pode-se utilizar botões do tipo *push button* que, ao serem pressionados, alteram o estado de uma porta digital do Arduino, configurada como entrada, do estado de nível alto para o baixo e vice-versa. A figura 16, feita no *software Fritzing*, representa a ligação de botões *push-button* com o Arduino.

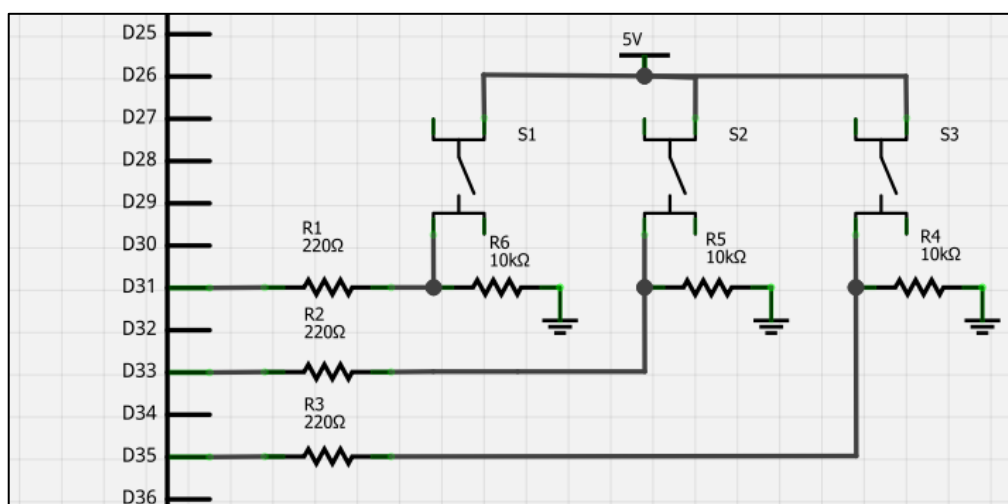


Figura 16: Ligação de botões *push-button* com o Arduino.

Tendo como referência a figura 16 acima, pode-se verificar a existência de três botões do tipo *push button* denominados como S1, S2 e S3. Tais botões representam as funções de incrementar ou decrementar uma unidade, em °C, na temperatura e selecionar quando o valor expresso no *display* corresponde ao desejado. Ao pressionar um dos botões o pino de entrada do Arduino entende que o nível lógico a que está submetido é alto pois, ao ser pressionado, os contatos do botão são fechados garantindo com que chegue a tensão de alimentação, no caso 5 volts, ao pino do Arduino. Quando os botões não estão pressionados, os resistores conectados diretamente ao GND são responsáveis por garantir que o nível lógico,

entendido pelos pinos de entrada do Arduino, seja baixo, uma vez que estes estão conectados ao GND.

3.2.6. SENSORES

Os sensores são dispositivos que produzem uma resposta a mudanças de condições físicas, tais como temperatura, campo magnético e luz. São usados, geralmente, na monitoração de algum fenômeno do ambiente, gerando uma resposta que fica registrada em relatórios de medidas. Os vários modelos de detecção são construídos tendo como base a necessidade da aplicação e características dos dispositivos sendo que, na maioria dos sensores, a habilidade de detecção diminui com o aumento da distância em relação ao fenômeno e melhora com o tempo que o sensor fica exposto para coletar informações (MOREIRA, 2001).

Para coletar informações referentes ao valor da temperatura, pode-se utilizar o sensor de temperatura LM35. Este sensor, considerado de precisão e baixo custo, é fabricado pela *National Semiconductor* e apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura. Sua saída consiste de um sinal que varia 10 milivolts para cada °C de temperatura, podendo registrar valores de -55 a 150 °C de acordo com seu *datasheet*. A figura 17 mostra a representação de um LM35, assim como a configuração de seus pinos.

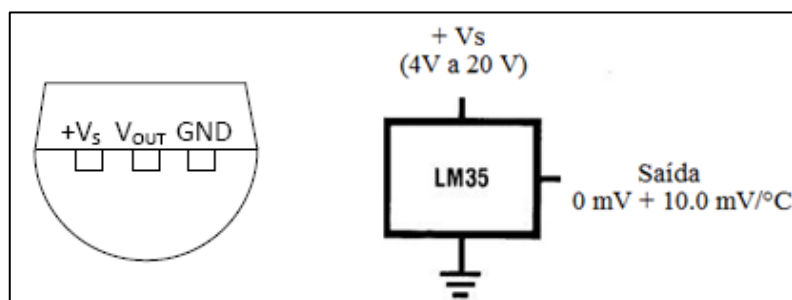


Figura 17: Representação e pinagem de um sensor de temperatura LM35.

Fonte: *Datasheet* do LM35.

A leitura dos sensores, realizada pelo Arduino Mega 2560, é feita a partir das entradas analógicas, existentes em sua estrutura, que utilizam um conversor

3.2.7. CIRCUITO DE CONTROLE E ACIONAMENTO

The diagram illustrates the hardware connection between an Arduino Mega 2560 and an LCD1608 display. The Arduino is powered by a 9V battery through a 3V3 voltage regulator. The LCD is powered by two 10kΩ potentiometers (POT1 and POT2) connected to the 5V and GND pins. The LCD pins are connected to the Arduino pins as follows: VSS to GND, VCC to 5V, Va to A0, RS to A1, R/W to A2, E to A3, DB0 to A4, DB1 to A5, DB2 to A6, DB3 to A7, DB4 to A8, DB5 to A9, DB6 to D1 TX0, DB7 to D0 RX0, LED+ to D14/TX3, and LED- to GND.

42

As saídas PWM de números 8 e 9 não fazem parte da ligação do *display*. Tais portas são as saídas responsáveis pelo controle da vazão de água dos sistemas de aquecimento solar e de reaproveitamento de calor, respectivamente, através de um circuito de acionamento que pode ser visualizado pela figura 19.

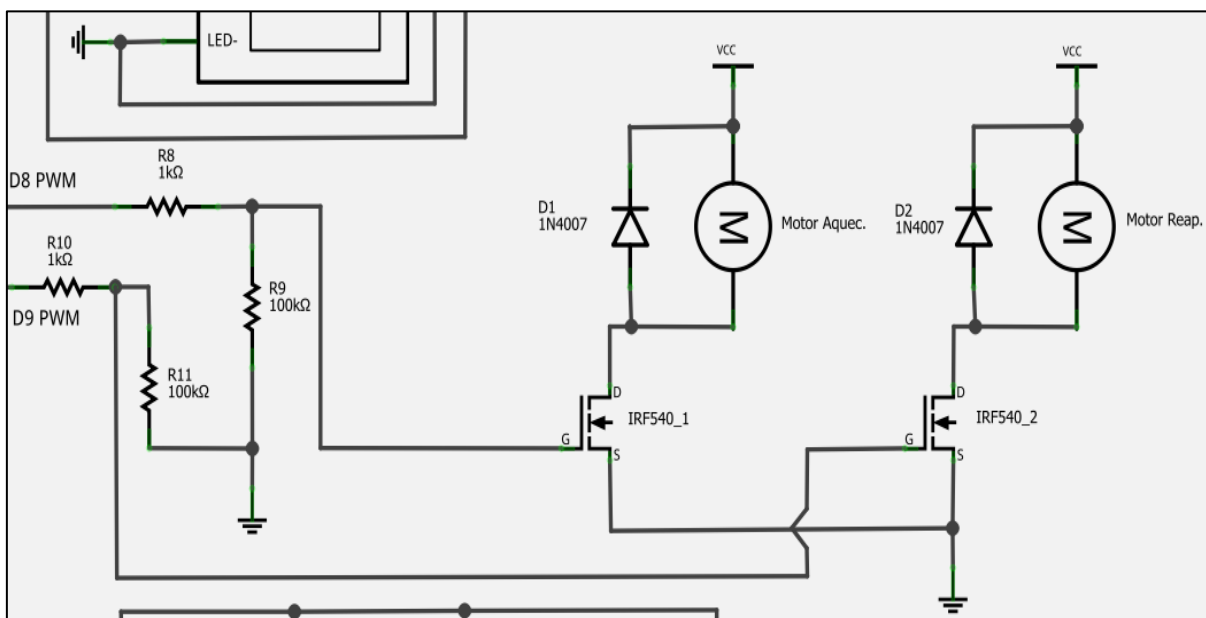


Figura 19: Circuito de acionamento das bombas d'água.

O circuito de acionamento da resistência elétrica do chuveiro se usa um relé devido o fato de que a carga é alimentada por uma rede de tensão alternada, como visto pela figura 13. A parte do circuito responsável pela leitura dos sensores está representada pela figura 20 onde se percebe a existência de quatro sensores LM35, sendo que cada sensor é referente a uma parte do sistema.

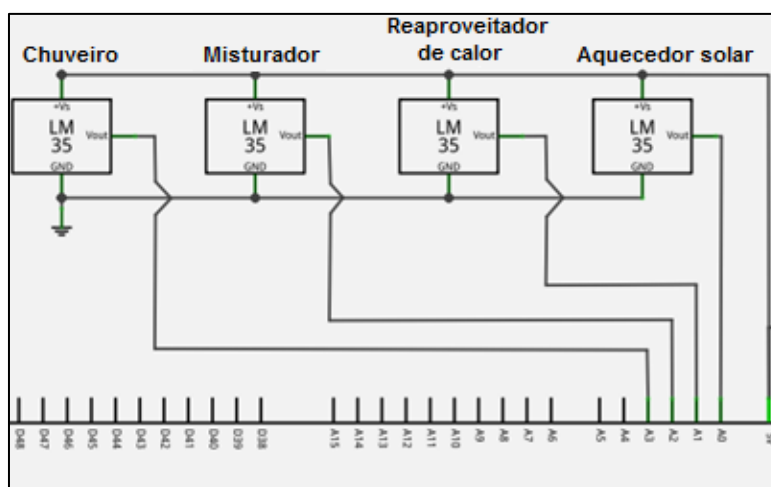


Figura 20: Circuito dos sensores.

O diagrama esquemático do circuito completo pode ser visto pela figura 21, sendo que o mesmo está representado em visão de *Protoboard* pela figura 22 onde podem ser visualizados todos os componentes e partes do circuito eletrônico de controle do chuveiro.

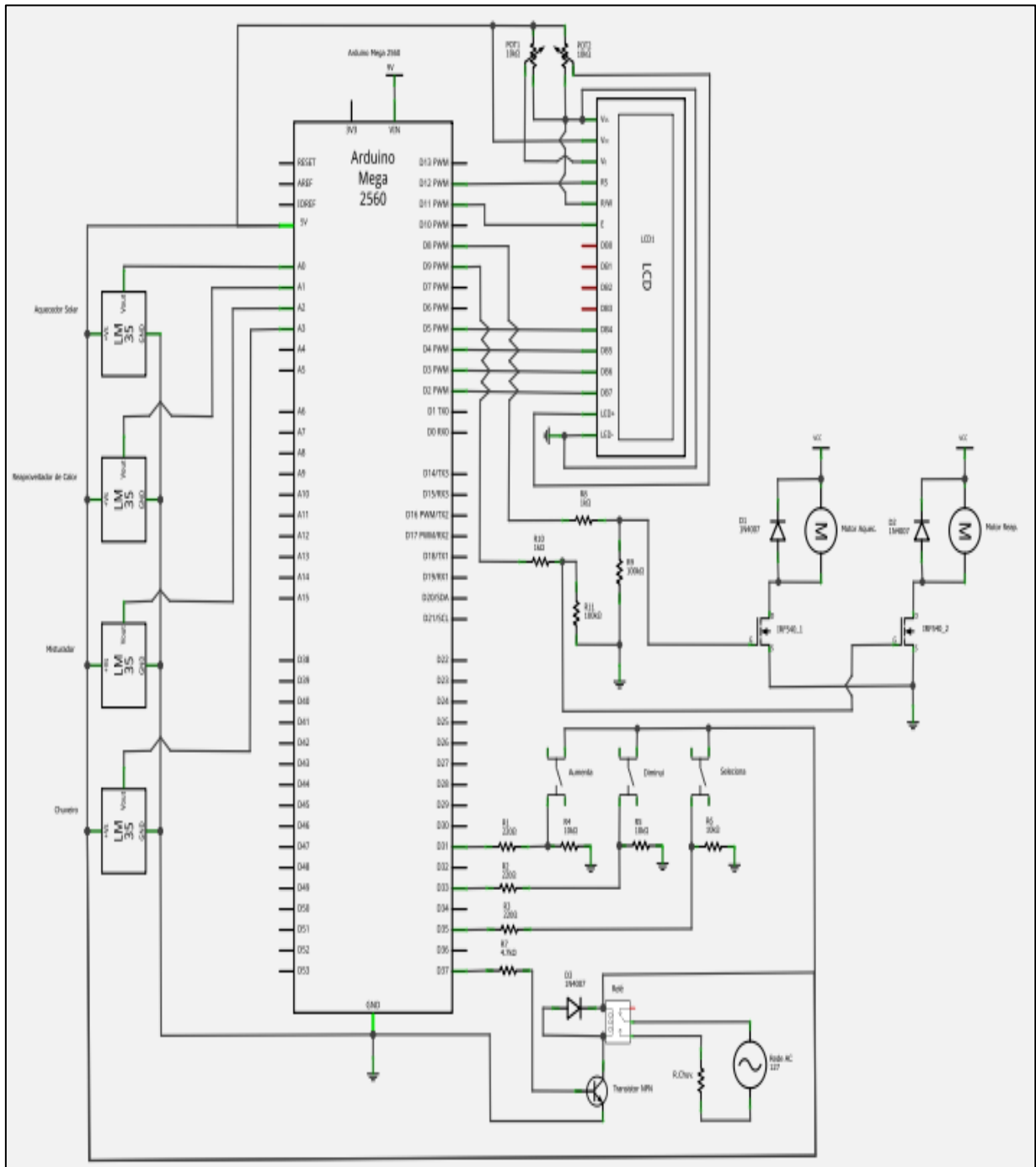


Figura 21: Diagrama esquemático do circuito completo.

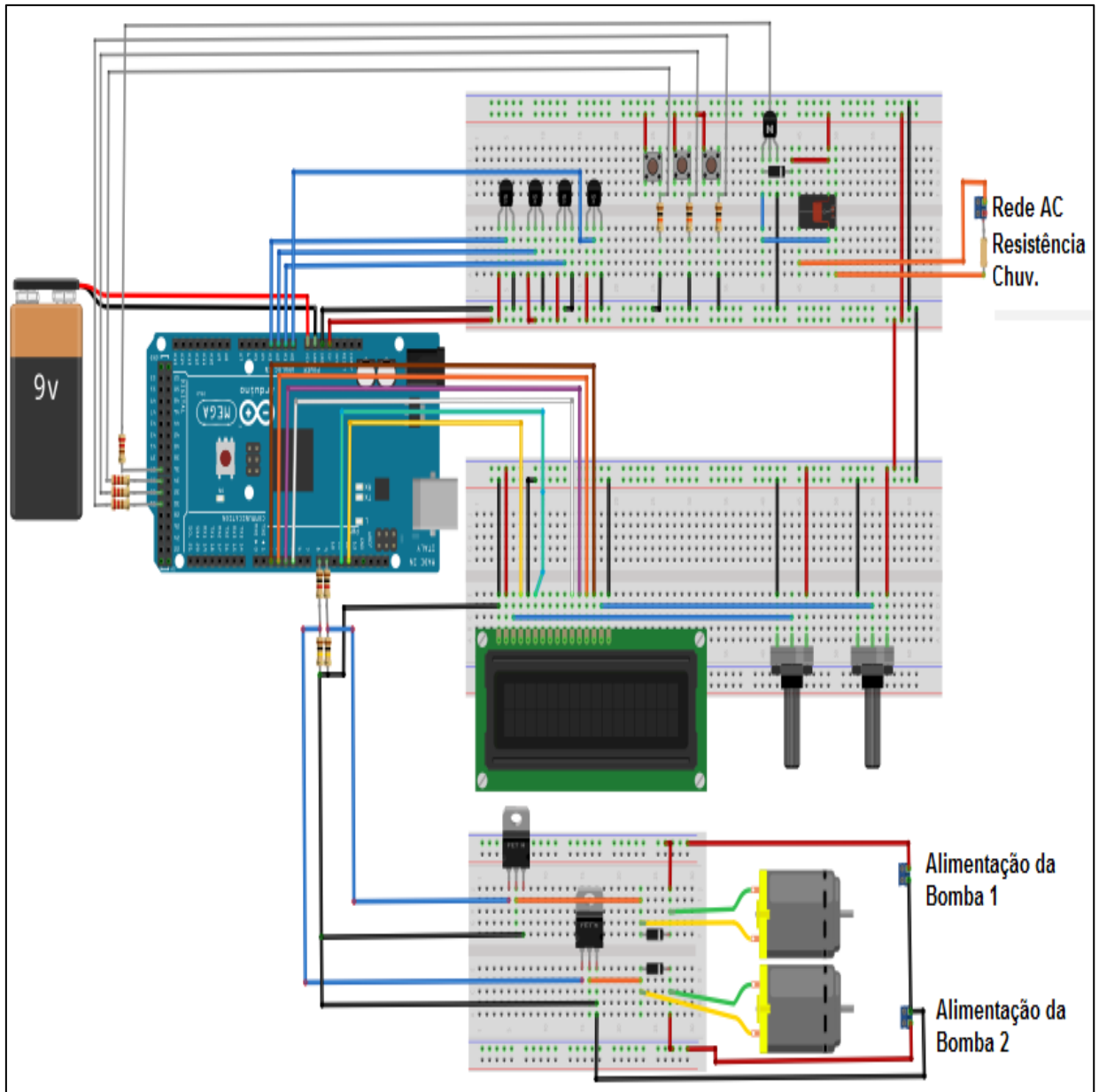


Figura 22: Visão de *Protoboard* do circuito completo.

3.2.8. LÓGICA DE CONTROLE

A lógica de controle do chuveiro está baseada em uma arquitetura constituída por 4 sensores de temperatura LM35, como mostra a figura 23. Sendo que um sensor é referente à temperatura de saída do aquecedor solar (Sensor 1), um ao

reaproveitador de calor (Sensor 2), um ao misturador (Sensor 3) e um à saída do chuveiro (Sensor 4). Além dos sensores, fazem parte do sistema de controle duas bombas de água para fazer a regulação da vazão de água proveniente de cada sistema de aquecimento acoplado ao chuveiro.

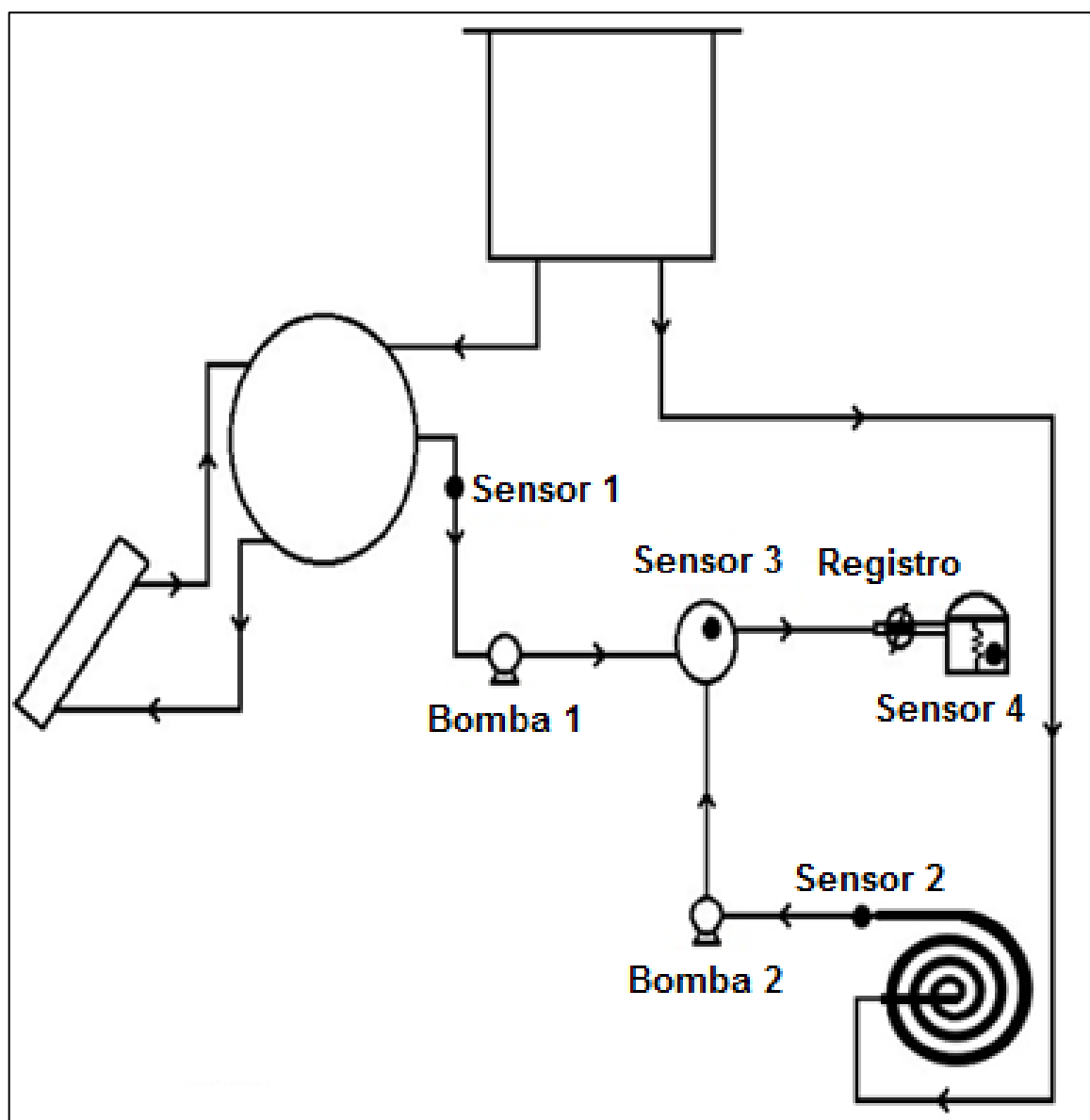


Figura 23: Arquitetura do sistema de controle.

A lógica consiste, basicamente, em comparar a temperatura escolhida pelo usuário do chuveiro com as temperaturas dos sistemas de aquecimento e, então, alterar a vazão de água de cada sistema até atingir a temperatura escolhida no misturador, como pode ser entendido pelo fluxograma da figura 24.

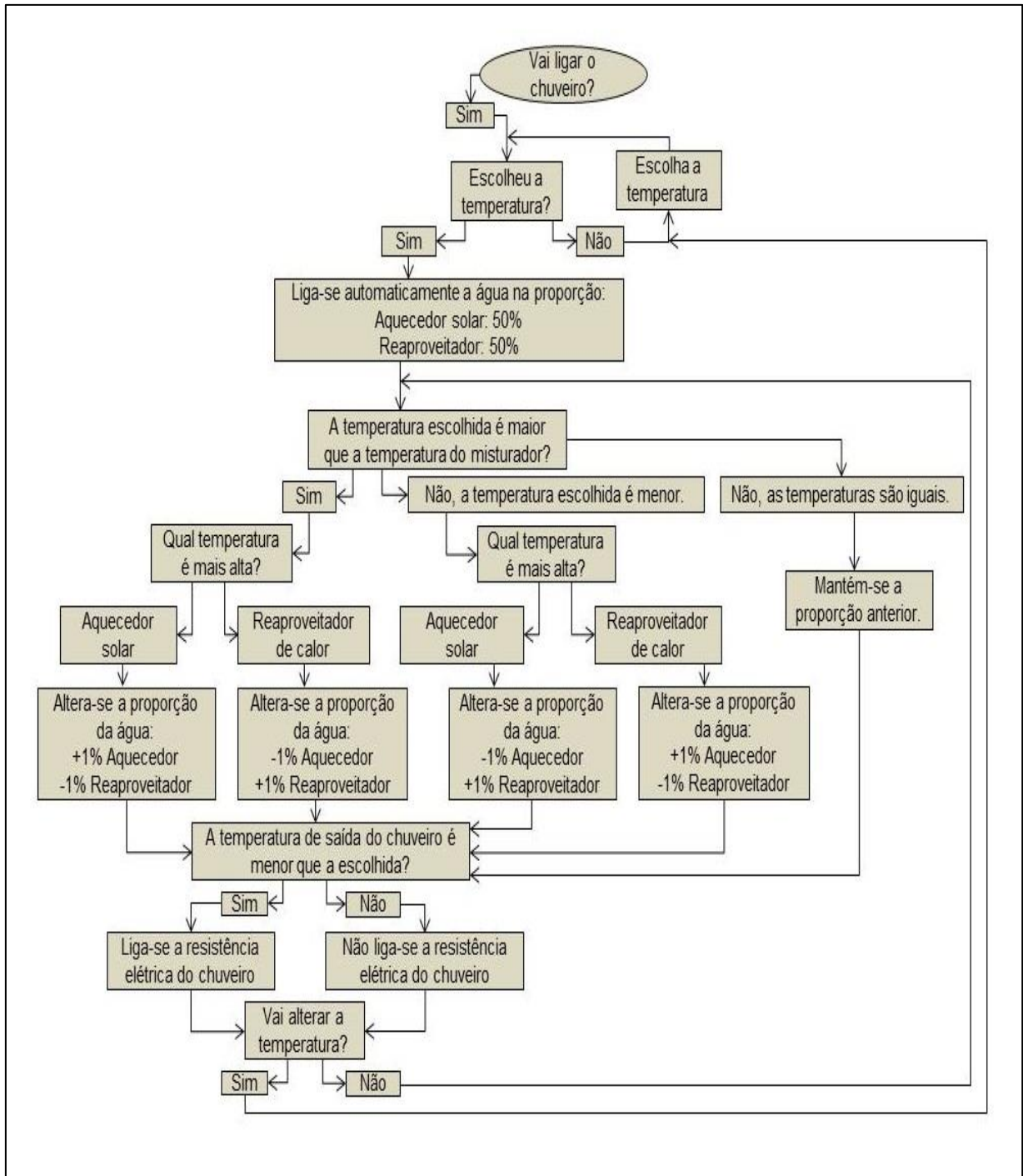


Figura 24: Fluxograma de controle.

Antes de ligar o chuveiro, o usuário terá de escolher a temperatura para o banho, sendo que o valor da temperatura será expresso em um *display* LCD e a escolha feita através de botões *push button* para aumentar ou diminuir tal valor, um terceiro botão fará a seleção da temperatura escolhida. Após a escolha do valor de temperatura o sistema, inicialmente, ligará as bombas de água com o PWM de 50%

para cada bomba, ou seja, 50% de água proveniente do aquecedor solar e 50% proveniente do reaproveitador de calor. Se a temperatura escolhida é maior que a temperatura do misturador, verifica-se qual sistema (Aquecedor ou Reaproveitador) apresenta-se com maior temperatura, após esta verificação acrescenta-se 1% do PWM da bomba referente ao sistema com maior temperatura e diminui 1% do PWM da bomba referente ao outro sistema. Desta forma, a vazão de água permanecerá constante, pois a porcentagem de água entregue será sempre 100%.

Caso o misturador apresente um valor de temperatura maior que o escolhido, o processo, descrito anteriormente, é inverso e o aumento de vazão passa a ser do sistema mais frio. Quando o misturador atingir a temperatura escolhida o sistema mantém a porcentagem de vazão anterior de cada bomba até que a temperatura do misturador se desestabilize novamente. Vale ressaltar que se as temperaturas tanto do aquecedor como do reaproveitador forem iguais, a porcentagem da vazão de cada sistema fornecida também permanecerá a mesma anterior.

Ressalta-se, também, que se o ajuste de algum dos sistemas chegar a 100% e, conseqüentemente, o outro a 0% a lógica de controle não permitirá que se acrescente ou diminua mais o PWM das bombas, ou seja, o sistema somente irá se alterar quando houver necessidade de diminuir a porcentagem de vazão do sistema que está ligado com 100%. Por fim, se a temperatura terminal do chuveiro ainda não atingir o valor escolhido, ou seja, se a temperatura de saída do chuveiro for menor que a temperatura escolhida, liga-se a resistência elétrica do mesmo para compensar a diferença de temperatura. O processo se repetirá até que o usuário queira trocar o valor da temperatura ou, simplesmente, desligue e ligue o chuveiro novamente.

Uma observação importante é que o uso das bombas é simbólico pois, na prática, deveria ser usado válvulas que regulam o ângulo de abertura de acordo com a tensão aplicada. Esta afirmação se deve ao fato de que, além de ter um preço mais elevado que o das válvulas, as bombas só podem ser ligadas com o registro aberto para que não ocorra um aumento excessivo de pressão no interior do misturador. Para evitar este efeito, uma alternativa seria inserir um realimentador no misturador que, ao encher, o mesmo direcionaria o excesso de água para o reservatório térmico do aquecedor solar ou para a caixa d'água, por exemplo.

3.2.9. COMPILADOR DA PLATAFORMA ARDUINO

O programa de controle do chuveiro foi feito a partir de um compilador, próprio para Arduino. Nos dias de hoje, a maioria dos microcontroladores existentes no mercado conta com compiladores em linguagem C para o desenvolvimento de *softwares*, pois esta linguagem permite a construção de programas e aplicações complexas, de forma mais fácil do que com a linguagem *Assembly*, também utilizada para programar microcontroladores. O compilador em linguagem C pode ser chamado de compilador de alto nível, pois faz com que o programador preocupe-se mais com a programação em si e o compilador assume responsabilidades como localização da memória, operações matemáticas e lógicas, verificação de bancos de memórias e outros.

O ambiente de desenvolvimento do Arduino é um compilador C e C++ que usa uma interface gráfica construída em Java que, basicamente, se resume a um programa IDE (do inglês *Integrated Development Environment*, que significa Ambiente de Desenvolvimento Integrado) simples de usar e de estender com bibliotecas que podem ser facilmente encontradas. As principais funções da IDE do Arduino são: permitir o desenvolvimento de um *software* e enviá-lo à placa para que possa ser executado. Sendo que este compilador é *open source*, o mesmo pode ser baixado pelo portal do site Arduino e utilizado livremente (ERUS, 2012). O código para o controle eletrônico do chuveiro foi feito por este compilador e gravado no Arduino Mega 2560 utilizado.

3.3. MODELO FÍSICO REDUZIDO

Atualmente, é possível encontrar formas baratas de se obter um aquecedor movido à energia solar, levando em consideração que algumas pessoas já conseguiram desenvolver um tipo de placa coletora de calor confeccionada a partir de garrafas PET. Existem até mesmo manuais, que podem ser encontrados na internet, que ensinam a fazer esse tipo de aquecedor, sendo esta uma boa

alternativa para aqueles que desejam racionalizar o consumo de energia elétrica mas não possuem condições financeiras para arcar com os custos de aquisição e instalação de um aquecedor solar convencional.

Pode-se dizer que esta ideia contribui mais para a preservação ambiental do que para economia de uma família propriamente dita, sendo que reutilizam-se materiais que virariam lixo, como garrafas de plástico (PET) e caixas de leite, e os transformam em um sistema de aquecimento de água que funciona exatamente igual ao produzido industrialmente. Apesar de apresentar um rendimento reduzido, em relação ao aquecedor tradicional, isto não é o bastante para inviabilizar o projeto, pois é possível obter temperaturas bem mais elevadas que as ideais para banho. Tendo como base que seu custo de aquisição e instalação é, expressivamente, menor, milhares de famílias podem aderir este sistema e contribuir para a economia de energia elétrica.

O modelo de garrafas PET para o aquecedor solar, mostrado pela figura 25, foi implementado, seguindo os passos do Manual sobre a construção e instalação do aquecedor solar composto de embalagens descartáveis (ALANO, 2002), como forma de reduzir os custos da realização do projeto.



Figura 25: Protótipo do aquecedor solar de garrafa PET.

O aquecedor construído é composto por duas linhas e 11 colunas de garrafas PET, onde os canos de PVC e as caixas de leite inseridos no interior das embalagens descartáveis foram pintados com tinta fosca de cor preta. Para a confecção do *boiler* utilizou-se um galão de água mineral de 20 litros revestido com camadas de isopor como forma de isolamento térmico para manter o calor da água dentro do reservatório. Para a conexão com a caixa d'água, na parte inferior do reservatório, foi inserido um adaptador para mangueira cuja função é abastecer o *boiler*, através de uma mangueira conectada à caixa d'água, com água proveniente da mesma.

Com um cano de latão fino foi possível fazer o protótipo do reaproveitador de calor, uma vez que o latão apresentou a maleabilidade necessária para ser enrolado até atingir a forma espiral do reaproveitador, como pode ser visto pela figura 26. A estrutura, constituída por dois blocos de madeira dispostos perpendicularmente, é apenas a representação da estrutura de um chuveiro normal que é fixado em uma parede com o reaproveitador de calor situado no piso. O revestimento em papel *contact* se fez necessário melhorar a aparência do protótipo.

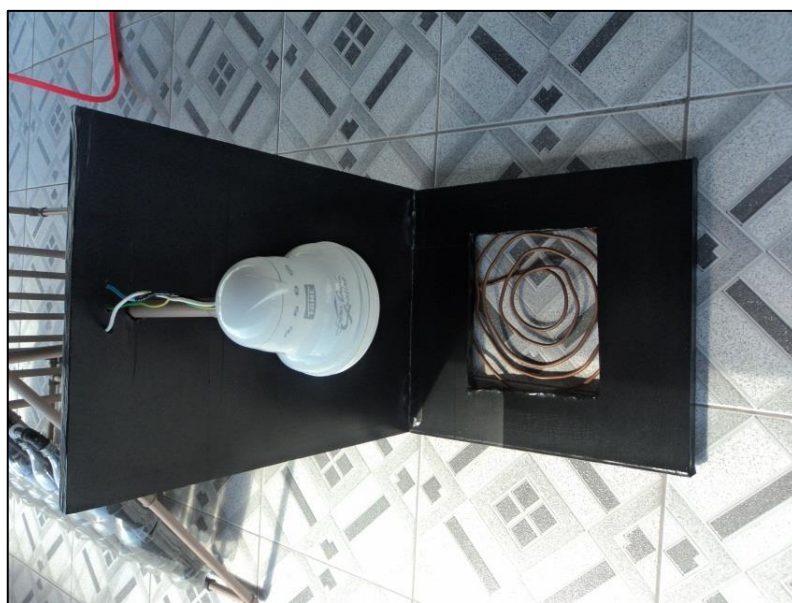


Figura 26: Protótipo do Reaproveitador de Calor.

O misturador, representado por uma conexão do tipo T, está conectado antes do registro de água e recebe uma entrada vinda do aquecedor solar e outra do reaproveitador de calor, como pode ser visto pela figura 27.

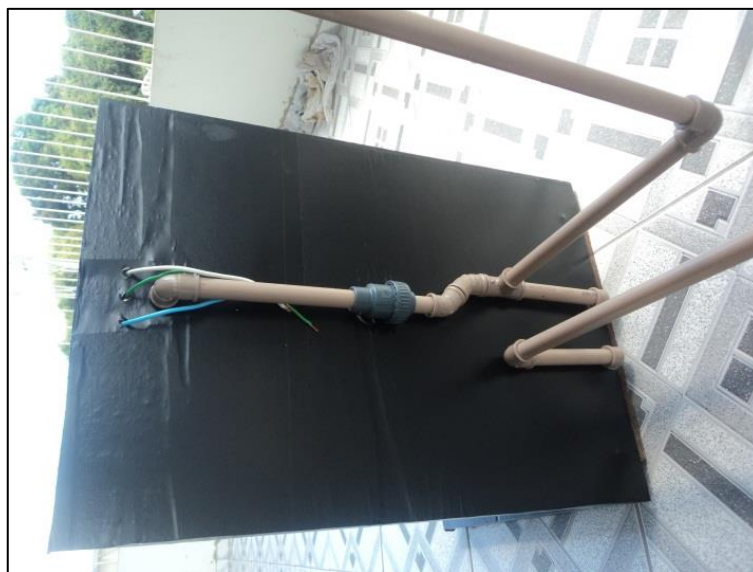


Figura 27: Protótipo do Misturador.

A figura 28 mostra uma imagem do protótipo completo do chuveiro, onde podem ser observadas todas as partes constituintes do modelo proposto conectadas. Os resultados e conclusões, conseguidos através da realização deste projeto, estão apresentados na seção 4.



Figura 28: Protótipo do chuveiro completo.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1. TESTES DO AQUECEDOR SOLAR

Uma vez que a parte do protótipo referente ao aquecedor solar foi construída de maneira funcional, foi possível testar seu funcionamento. Utilizando um multímetro da *Minipa* ET-1110 DMM pôde-se realizar medições de temperatura, testando a eficiência e viabilidade do aquecedor de garrafas PET.

As medições foram realizadas durante quatro dias e em determinados horários de maneira que o termopar do multímetro era inserido dentro do reservatório, como visto na figura 29, e os valores de temperatura registrados foram anotados de acordo com o valor expresso pelo visor do multímetro, por exemplo, no instante da fotografia, a temperatura do reservatório era de 51° C.



Figura 29: Testes do aquecedor solar.

Além da temperatura do reservatório, foram observadas, também, as temperaturas do ambiente e da água da caixa. Os valores foram anotados e estão transcritos na tabela 10, onde os mesmos podem ser verificados de acordo com a quantidade de horas de exposição do sistema ao sol.

Tabela 10: Medições de temperatura do Aquecedor.

Dias de medição	Temperaturas	Temperatura em °C a partir de horas de exposição ao sol				
		1 hr	2 hrs	3 hrs	4 hrs	5 hrs
1°	Ambiente	25	27	28	28	26
	Caixa d'água	22	24	24	23	23
	<i>Boiler</i>	29	35	39	42	44
2°	Ambiente	27	27	28	29	29
	Caixa d'água	24	24	23	23	23
	<i>Boiler</i>	30	37	45	49	51
3°	Ambiente	24	26	26	27	27
	Caixa d'água	23	23	24	23	22
	<i>Boiler</i>	28	35	37	40	41
4°	Ambiente	29	30	30	31	30
	Caixa d'água	24	24	25	25	25
	<i>Boiler</i>	31	39	46	51	54

Ao analisar os dados transcritos na tabela 10, percebe-se que o aquecedor consegue aquecer a água do boiler de forma considerável. No entanto, o protótipo construído possui algumas perdas de calor, um exemplo é a perda referente ao *boiler*, uma vez que a tampa é removível ocorre uma pequena troca de calor com o ambiente externo. Estas perdas podem ser atenuadas com o uso correto de um *boiler* fechado.

Comparando-se com um aquecedor solar comercial, cuja temperatura atingida varia de 50 a 70° C (SOLETROL, 2011), nota-se que o sistema apresenta temperaturas inferiores ao aquecedor tradicional, porém, como a temperatura ideal para banho varia de 29 a 37° C (YES! COSMETICS, 2008), seu uso se torna viável.

4.2. TESTES DO CIRCUITO DE CONTROLE

Utilizando o software *Proteus – ARES*, da empresa *Labcenter Electronics*, foi possível o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso, sendo esta uma espécie de *shield* que consiste em integrar os componentes de forma que a ligação com o Arduino seja a mais simples possível. Após o desenvolvimento do esquemático da placa, pelo *Proteus – ARES*, este foi passado para uma placa de

fenolite na qual se utilizou percloroeto de ferro para corrosão do cobre em volta das linhas do circuito. O resultado obtido pode ser visto pela figura 30 que representa o *shield*, com todos os componentes utilizados, para ligação com o Arduino Mega 2560.

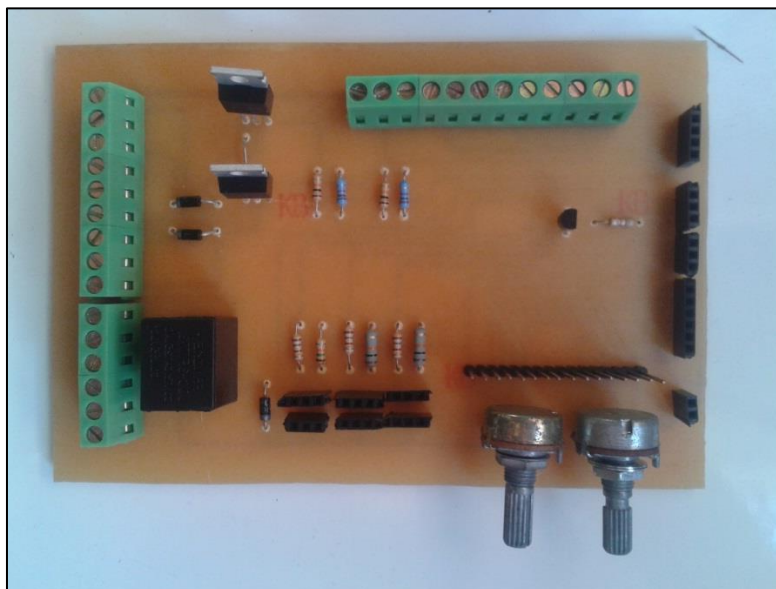


Figura 30: Shield do circuito de controle.

Nota-se que o *shield* é disposto de forma com que, além da alimentação, os componentes, tais como os sensores e os motores das bombas, possam ser facilmente inseridos ou removidos, através de bornes, do circuito para manutenção, troca ou desligamento do sistema. O *display* LCD pode ser ligado, através de um cabo *flat* comum de computador, aos pinos destinados a sua configuração. A figura 31 mostra o circuito de sensores utilizado para os testes da placa de controle.



Figura 31: Circuito de sensores.

Pode-se verificar que os quatro sensores LM35 foram inseridos diretamente nos bornes especificados como forma de facilitar a realização dos testes. Os sensores foram submetidos a alterações de temperatura para que a lógica de programação fosse testada sobre qualquer tipo de situação de operação. A figura 32 mostra o modelo completo de teste que foi realizado no laboratório de eletrônica do IFMG – Formiga.

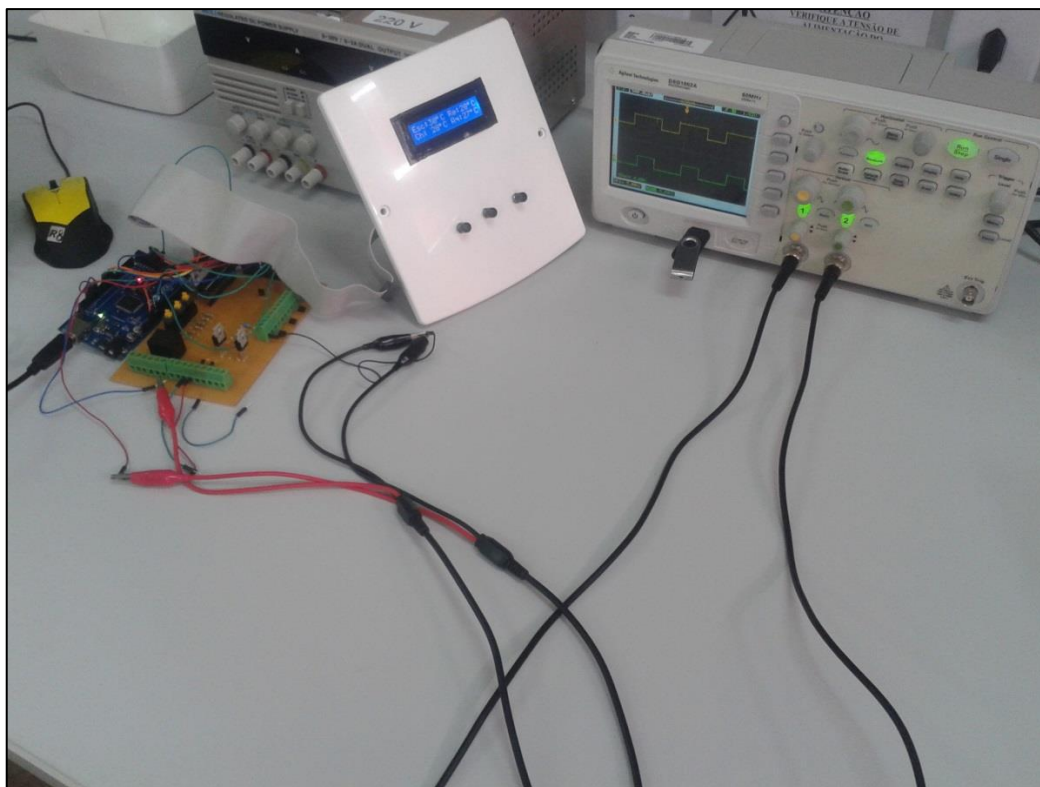


Figura 32: Montagem do circuito para testes.

As pontas de prova, provenientes do osciloscópio utilizado, permitiram a análise do comportamento das saídas PWM do Arduino designadas ao controle da vazão das bombas d'água. Além disto, com o auxílio do osciloscópio foi possível verificar a confiabilidade do acionamento do relé, usado no controle da alimentação da resistência elétrica do chuveiro. Como resultado, pode-se observar pela figura 33 o funcionamento do *display* LCD que indica, como meio de monitoramento, as temperaturas de escolha, do chuveiro, do reaproveitador e do aquecedor solar. Nota-se que neste instante as temperaturas de todos os sistemas apresentaram um valor igual a 28°C, isto se deve ao fato de que os sensores estão próximos a um mesmo referencial de temperatura e somente após o início dos testes foram submetidos a temperaturas diferentes.



Figura 33: Funcionamento do Display LCD.

As formas de onda, obtidas pelo osciloscópio, referentes às saídas PWM do Arduino utilizadas foram salvas e podem ser visualizadas pelas figuras 34, 35 e 36. Sendo que a onda mais acima é a onda referente ao reaproveitador de calor e a onda mais abaixo é referente ao aquecedor solar o sistema foi submetido à várias situações e como resposta as formas de onda indicam que a lógica de controle atendeu as expectativas.

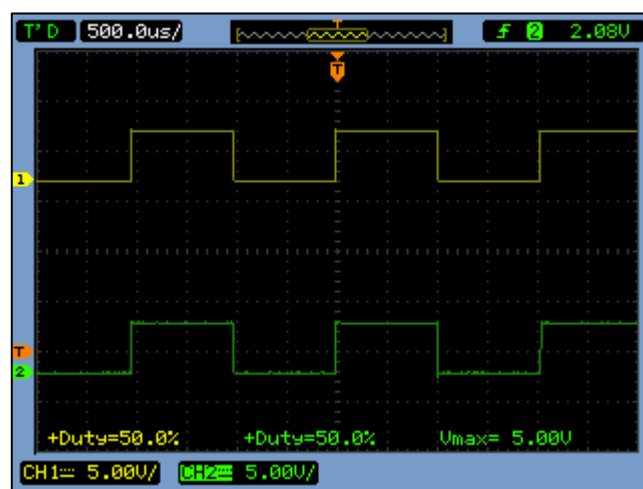


Figura 34: Forma de onda PWM ($\pm 50\%$ de vazão para ambos os sistemas).

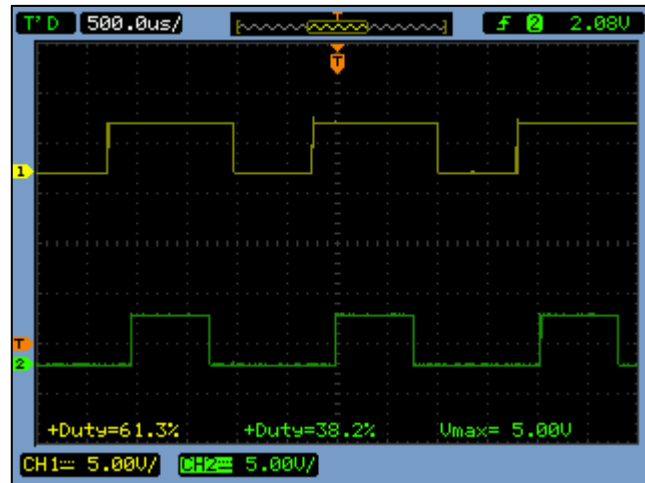


Figura 35: Forma de onda PWM (Mais vazão do sistema reaproveitador de calor).

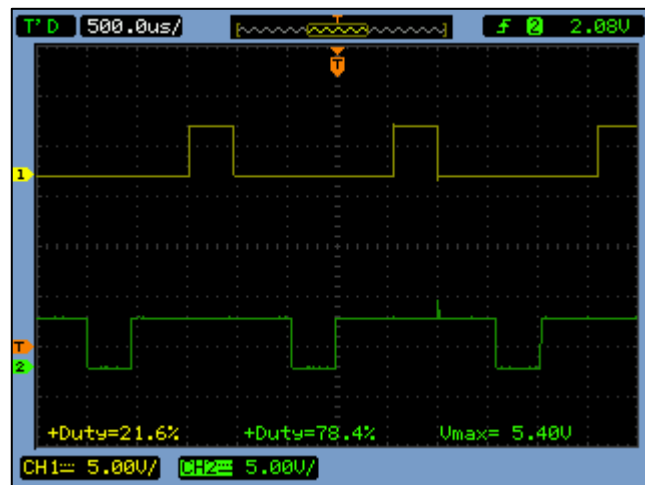


Figura 36: Forma de onda PWM (Mais vazão do sistema aquecedor solar).

Tendo como base as formas de onda provenientes do osciloscópio, chega-se a conclusão de que as saídas PWM do Arduino se comportaram exatamente como o esperado, representando o aumento da vazão do sistema de aquecimento mais conveniente enquanto que o outro teve redução proporcional de sua vazão. O último teste realizado é referente ao acionamento da resistência elétrica do chuveiro usando um relé. A figura 37 – (a) mostra que a tensão emitida pelo pino digital do Arduino responsável pelo acionamento do relé é de 0 Volts já que a temperatura final do chuveiro apresentava, no momento, um valor maior ou igual ao escolhido e, portanto, a resistência não precisaria ser ligada. A figura 37 – (b) mostra a situação contrária, ou seja, quando a temperatura do chuveiro é menor que a escolhida.

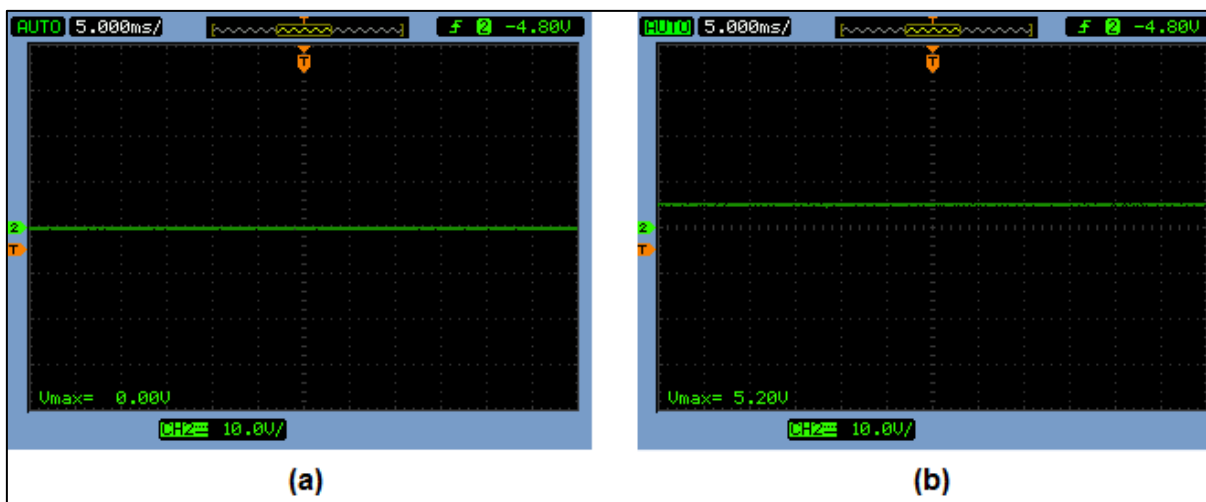


Figura 37: Testes do acionamento da resistência elétrica do chuveiro.

Complementando os resultados obtidos com circuito eletrônico, a figura 38 mostra o *layout* do dispositivo de controle da temperatura do misturador no qual a placa e o Arduino foram inseridos dentro de uma caixa de passagens da Tigre e o usuário somente terá acesso às teclas funcionais do sistema e poderá visualizar as informações descritas pelo display LCD.



Figura 38: *Layout* do dispositivo de controle de temperatura.

Devido à indisponibilidade de bombas de água e válvulas com ângulo de abertura regulável, não foi possível efetuar a junção entre a parte eletrônica do sistema proposto e a parte física. Sendo assim, esta etapa fica como sugestão de melhoria para o trabalho.

4.3. CONCLUSÕES

É claramente notável que a utilização de sistemas para aquecimento de água para o banho, pode ser obtida de forma mais eficiente. Fazendo o uso de materiais alternativos, um sistema que visa economia de energia para chuveiros se torna acessível até mesmo para uma população de baixa renda, contribuindo para a redução de gastos com a conta de energia.

Nota-se, com a realização do projeto, a viabilidade da utilização do aquecedor solar de garrafas PET, chegando à conclusão que o mesmo pode ser inserido de forma eficaz em residências comuns, sendo que os níveis de temperatura alcançados por ele superam os valores normais para condições de banho.

A implementação da lógica de controle descrita permite uma otimização nos processos de aquecimento de água, proporcionando um avanço tecnológico, no que se trata de eficiência energética. Uma vez que sua utilização garante uma diminuição considerável no consumo de energia elétrica de uma residência, pode-se dizer que a aplicação em larga escala provocaria até mesmo um descongestionamento das linhas de transmissão e, conseqüentemente, uma redução da demanda em horário de ponta do sistema elétrico brasileiro que é caracterizado em um horário cuja maioria das pessoas utiliza o chuveiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALANO, J. A. **Manual Sobre a Construção e Instalação do Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis**. Tubarão – SC, 2002.

ANDREONI, D. e FRANÇA, H. F; Cemig: MAGALHÃES, J.G. et. al Rewatt ecológica. **Recuperador de calor para chuveiros elétricos de consumidores de baixa renda**. Revista Eletricidade Moderna, n428, novembro de 2009. ISSN 0100-2104.

ANEEL. **Tarifa de Energia Elétrica**. Resolução Homologatória Aneel 1.507, de 05 de Abril de 2013. Tarifas sem impostos (ICMS, PIS/PASEP, COFINS e Contribuição de Iluminação Pública) referentes ao período de 08/04/2013 a 07/04/2014.

ARDUINO. **Arduino Home Page**. Disponível em: < <http://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2014.

ARTEN, R. **Misturador Automático de Água Quente e Fria**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.bomcomercio.com.br/entidades/noticias.aspx?newsid=742&entid=29>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2014.

BARBOSA, L. **Alternativas para aquecimento de água**. 2010. KERDNA Produção Editorial LTDA. Disponível em: <http://chuveiro-eletrico.info/mos/view/Alternativas_para_aquecimento_de_agua/>. Acesso em: 13 de dezembro de 2013.

CEFET-SC (Unidade de Chapecó). Apostila: **Módulo IV - Comandos Industriais II Chaves de Partida Suave Soft-Starter e Inversor de Frequência**. Julho, 2008.

COPEL - **Uso eficiente de energia na sua casa**. 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR51_0009.pdf>. Acesso em 16 de setembro de 2013.

CIRRA apud ROCHA, A.P. **Pesquisa conclui que banho com chuveiro híbrido solar é o mais barato**. 2010. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/tecnologia-materiais/pesquisa-conclui-que-banho-Com-chuveiro-hibrido-solar-e-o-174527-1.asp>>. Acesso em: 28 de novembro de 2013.

CLIQUE ARQUITETURA. **Conforto Térmico: Aquecedores a gás**. 2012. Disponível em: <<http://www.cliquearquitetura.com.br/portal/dicas/view/conforto-termico-aquecedores-a-gas/130>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2014.

CRISPIN, J. E. **Considerações sobre produção de energia no Brasil**. Urussanga – SC, Agosto de 2010.

*Datasheet: **MOSFET – IRF540N**.*

*Datasheet: **LCD – FDCC1602E**.*

*Datasheet: **LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors**.*

*Datasheet: **Transistor bipolar de junção – BC337/338**.*

DIAS, H. **Chuveiro híbrido de elétrico e solar é a opção mais barata e ecológica**. USP 2009 – Disponível em: < <http://casa.abril.com.br/materia/chuveiro-hibrido-de-eletrico-e-solar-e-a-opcao-mais-barata-e-ecologica> >. Acesso em: 12 de dezembro de 2013.

ERUS – Equipe de Robótica da UFES. **Minicurso Arduino**. JACEE, 2012.

FRANCISQUINI, A. A. **Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição**. Ilha Solteira – SP, Março de 2006.

FURLANETTO, C. **O uso da energia elétrica no ambiente residencial**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2001_TR51_0009.pdf>. Acesso em 16 de setembro de 2013.

LABORATÓRIO DE GARAGEM. **Tutorial: Conheça e Utilize MOSFETs**. 2012. Disponível em: <<http://labdegaragem.com/profiles/blogs/tutorial-conhe-a-e-utiliza-mosfets>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2014.

LIMA, E. de. Apostila: **CURSO DE ELETRÔNICA BÁSICA**. 2005.

MOREIRA, M. A. **Sistemas Sensores**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Agosto, 2001.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC – Programação em C**. Ed: Ética, 2ª ed. São Paulo, 2003.

SOLETROL. **Como Funciona um Aquecedor Solar**. Disponível em: < <http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php> >. Acesso em: 10 de dezembro de 2013.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil : banco de dados solarimétricos**. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p. Citado por ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª Edição. Brasília, 2005.

ZENHA, A. O. **Tarifa de Energia Residencial Social**. Portal do economista. Belo Horizonte, Agosto de 2006.

YES! COSMETICS. **Banho na temperatura certa.** Rio de Janeiro. Julho, 2008.