

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Dalmacio Almeida

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE QUEIMADOR DE
BIOGÁS INSTALADO EM MINIESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE EFLUENTES**

Taubaté-SP
2014

DALMACIO ALMEIDA

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE QUEIMADOR DE
BIOGÁS INSTALADO EM MINIESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE EFLUENTES**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projeto Mecânico

Orientador: Prof. Dr. Ederaldo Godoy Junior

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino

Taubaté – SP

2014

DALMACIO ALMEIDA

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE QUEIMADOR DE BIOGÁS INSTALADO
EM MINIESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projeto Mecânico

Orientador: Prof. Dr. Ederaldo Godoy Junior

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ederaldo Godoy Junior (Orientador) UNITAU

Assinatura _____

Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino (Coorientador) UNITAU

Assinatura _____

Prof. Dr. Carlos Alberto Chaves UNITAU

Assinatura _____

Prof. Dr. Teófilo Miguel de Sousa UNESP

Assinatura _____

Dedico este trabalho aos meus pais, minha esposa e nossos filhos.

José Almeida
Sebastiana Correia Almeida
Maria Aparecida da Silva
Gustavo Henrique Almeida
Julia Cristina Almeida

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas oportunidades e conquistas que obtive durante toda minha vida.

Aos meus pais, pelas referências de valores e pelos exemplos de vida.

Aos professores Dr. Ederaldo Godoy Júnior e Dr. Márcio Abud Marcelino, pela habilidade, objetividade e profissionalismo com que conduziram a orientação deste trabalho.

Ao Sr. Antero G. S. Marques, Engenheiro Diretor da empresa Senoidal Eletromecânica Ind. Com. LTDA, pelas informações e apoio técnico.

“A maior invenção da história, no passado, no presente e no futuro, é a captura da energia elétrica”.

Max Planck

Resumo

Este trabalho apresenta os estudos técnicos para implantação de um sistema de geração de energia que atenda a demanda dos circuitos eletroeletrônicos de um queimador de biogás, tornando-o autossuficiente energeticamente e viabilizando sua instalação em locais distantes e não atendidos pelo sistema convencional de distribuição de energia. O projeto do sistema de geração de energia tem como base a associação das tecnologias fotovoltaica e termoelétrica direta, tipo efeito *Seebeck*. O queimador de biogás descrito neste projeto é instalado em miniestações de tratamento de efluentes com produção de biogás, onde o aproveitamento energético da forma tradicional é inviável em função da baixa e inconstante vazão de biogás. O queimador de biogás possui um circuito eletrônico de controle que determina o tempo de combustão do biogás, onde, através de um microcontrolador, recebe informações do circuito eletrônico de controle e registra o volume de biogás queimado, objetivando a obtenção dos créditos de carbono. O queimador de biogás tem como objetivo somente o saneamento, provocando a queima do gás metano (CH_4) presente no biogás e permitindo a busca por créditos de carbono, contribuindo para a diminuição dos efeitos provocados pelos gases do efeito estufa (GEE). Durante os estudos, foi constatado que a energia gerada pelo painel fotovoltaico é suficiente para atender a demanda de energia do circuito eletroeletrônico do queimador de biogás, enquanto que o sistema termoelétrico direto obteve resultados desprezíveis. Constatou-se também que parte do circuito do controlador de carga, utilizado nesse estudo, pode futuramente ser inserida no *firmware* do microcontrolador já existente no projeto, reduzindo assim significativamente os componentes do circuito.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; *Seebeck*; Queimador de biogás; Autossuficiência energética.

Abstract

This paper presents the technical studies for the implementation of a system of power generation to meet the energy demand of biogas burner electronics circuits, making it self-sufficient energy and enabling installation in remote locations not served by the conventional system of energy distribution. The design of the power generation system is based on the combination of photovoltaic technologies and thermoelectric direct like *Seebeck Effect*. The biogas burner described in this project is installed in mini-stations for treatment and biogas production, where energy reuse in the traditional way is not feasible due to the low and variable flow of biogas. The biogas burner has an electronic control circuit which determines the time of combustion of biogas, which, through a microcontroller receives information from the electronic control circuit and registers the volume of biogas flared aiming to get carbon credits. The biogas burner, aims only sanitation, causing burning methane gas (CH₄) present in biogas and allowing the search for carbon credits, helping to reduce the effects caused by greenhouse gases (GHG). During the studies, it was found that the energy generated by the photovoltaic panel is enough to attend the energy demand of the electronics circuit of biogas burner, while the direct thermoelectric system obtained a negligible result. It was found that part of the charge controller, used in this study, in the future can be inserted into the firmware of the microcontroller existing of the in the project, reducing therefore the circuit components significantly.

Keywords: Photovoltaic Energy; Seebeck; Biogas burner; Energy self-sufficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama elétrico do circuito do queimador de biogás	15
Figura 1.2	Diagrama do sistema de geração, coleta e tratamento do efluente	17
Figura 2.1	Efeito fotovoltaico	20
Figura 2.2	Junção dos materiais P e N	21
Figura 2.3	Espectro de radiação solar	22
Figura 2.4	Ângulo Zenital e Linha do Zênite	23
Figura 2.5	Influência do ângulo zenital do Sol na massa de ar	24
Figura 2.6	Características da radiação solar nas massas de ar AM1,5 e AM0	25
Figura 2.7	Tipos de radiações incidentes na terra	26
Figura 2.8	Diferente movimento aparente do Sol ao longo do ano	27
Figura 2.9	Ângulo Azimutal	28
Figura 2.10	Montagem básica de um sistema fotovoltaico	29
Figura 2.11	Associação de células e painéis fotovoltaicos	30
Figura 2.12	Controlador de carga	31
Figura 2.13	Circuito Eletrônico do Inversor	32
Figura 3.1	Bateria de chumbo ácida	33
Figura 4.1	Módulo termoelétrico direto	36
Figura 4.2	Vista lateral do módulo termoelétrico direto	36
Figura 4.3	Vista superior do módulo termoelétrico direto	36
Figura 4.4	Película de grafite	37
Figura 4.5	Película de grafite sob o módulo	38
Figura 4.6	Película de grafite, módulo e manta isoladora	38
Figura 4.7	Manta isoladora em detalhe	39
Figura 4.8	Película de grafite, módulo, manta isoladora e dissipador	39
Figura 4.9	Película de grafite, módulo, manta isoladora, dissipador e <i>cooler</i>	40
Figura 4.10	Vista lateral da montagem completa do módulo termoelétrico	40
Figura 5.1	Projeto original do queimador de biogás	42
Figura 5.2	Componentes do queimador de biogás	43
Figura 5.3	Diagrama elétrico do circuito de controle	45
Figura 5.4	Instalação do queimador de biogás em uma rede doméstica	46
Figura 5.5	Diagrama elétrico do circuito de controle (2012)	47

Figura 5.6	Circuito de detecção de gasômetro cheio	48
Figura 5.7	Diagrama em blocos da unidade de controle do gasômetro	48
Figura 5.8	Detector de chama	49
Figura 5.9	Circuito ignitor	50
Figura 5.10	Fluxograma do firmware gravado no PIC	51
Figura 5.11	Circuito do Sensor Hall	52
Figura 6.1	Montagem dos módulos no protetor de chamas	54
Figura 6.2	Componentes do queimador de biogás	55
Figura 6.3	Diagrama do circuito eletroeletrônico do queimador de biogás	57
Figura 7.1	Gasômetro vazio (a) e gasômetro cheio (b)	58
Figura 7.2	Controlador de carga <i>Landstar</i> com sistema de monitoramento	59
Figura 7.3	Indicação dos LEDs no Controlador de Carga	59
Figura 7.4	Indicação das tensões dos LED's do Controlador de Carga	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Principais gases responsáveis pelo efeito estufa	18
Tabela 1.2	Composição do biogás	19
Tabela 2.1	Módulos solares Kyocera	30
Tabela 5.1	Componentes do queimador de biogás (antes das evoluções)	43
Tabela 6.1	Componentes do queimador de biogás (após as evoluções)	56
Tabela 7.1	Indicação de carga da bateria	60
Tabela 7.2	Monitoramento da bateria nas simulações de queima do biogás	61

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Ampère
AM 0	Massa de ar 0
AM1,5	Massa de ar 1,5
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CH ₄	Gás metano
CO ₂	Gás carbônico
DDP	Diferença de Potencial
ETE	Estações de Tratamento de Efluentes
GEE	Gases do Efeito Estufa
GN	Gás Natural
GWh	Giga Watts hora
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Gás Sulfídrico
LED	Diodo Emissor de Luz
MME	Ministério de Minas e Energia
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amoníaco
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio
PC	Computador Pessoal
pH	Potencial de Hidrogênio
PN	Potência Nominal
V	Volt
V _{CA} -	Tensão de corrente alternada
V _{CC}	Tensão de corrente contínua
W	Watt
W/m ²	Watt por metro quadrado
Wh/m ² /dia	Watt-hora por metro quadrado por dia
ΔT	Diferença entre temperatura final e temperatura inicial

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
	1.1 OBJETIVO	14
	1.2 MOTIVAÇÃO	15
	1.3 DISCUSSÃO DO PROBLEMA	16
	1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	19
2.	EFEITO FOTOVOLTAICO	20
	2.1 INFLUÊNCIA DA MASSA DE AR	22
	2.2 POSICIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	27
	2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO	29
3.	ARMAZENADOR DE ENERGIA	33
4.	SISTEMA TERMOELÉTRICO DIRETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA	35
5.	QUEIMADOR DE BIOGÁS	42
6.	SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA	54
7.	IMPLEMENTAÇÕES E RESULTADOS	58
8.	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE - Diagrama do circuito eletroeletrônico do queimador de biogás	67

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

A proposta deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema alternativo e viável de geração de energia. O estudo está baseado na associação das tecnologias fotovoltaica e termoelétrica direta para atender a demanda de energia dos circuitos eletroeletrônicos de um queimador de biogás, buscando a evolução do projeto original de Marcelino e Godoy Júnior (2011).

O queimador de biogás é instalado em miniestações de tratamento de efluentes com baixa e inconstante vazão, portanto sem a viabilidade para o aproveitamento energético. Apesar de não fazer o aproveitamento energético, o dispositivo é muito importante, pois realiza o saneamento, indo ao encontro das necessidades mundiais de redução da emissão de GEE, em especial do gás CH_4 que é 21 vezes mais agressivo à atmosfera, se comparado ao gás carbônico (CO_2). Com o sistema de geração de energia, o queimador de biogás se torna autossuficiente energeticamente e com isso viabiliza a sua instalação em locais remotos e não atendidos pelos sistemas convencionais de distribuição de energia.

O queimador de biogás é instalado em um gasômetro que possui formato telescópico que funciona como se fossem dois copos invertidos e com diâmetros ligeiramente diferentes, permitindo o encaixe de um copo dentro do outro. O copo de diâmetro menor, chamado de campânula, é encaixado com a boca para baixo, dentro do copo de diâmetro maior, de forma a proporcionar um acumulador interno, onde é armazenado o biogás.

Quando o acumulador do gasômetro estiver cheio de biogás, o circuito eletrônico de controle, através de um sensor magnético, identifica que o reservatório está cheio e aciona a abertura da válvula eletromecânica que libera a saída do biogás. Ao mesmo tempo, o circuito de interface e ignição provoca a ignição e conseqüentemente a queima do biogás.

Um circuito microcontrolado permite a contabilização do volume de biogás queimado, e registra o número de vezes que o acumulador do gasômetro encheu e foi esvaziado, registrando dessa forma o volume de biogás queimado, permitindo a busca, através de órgãos oficiais, de créditos de carbono.

1.2 MOTIVAÇÃO

O interesse no desenvolvimento desse projeto, se deu pelo fato de poder contribuir com as melhorias e evoluções do projeto original do queimador de biogás (Marcelino e Godoy Júnior, 2011), tornando-o autossuficiente e dando ênfase a um sistema para pressurizar a linha de biogás de forma a não gastar energia elétrica com acionamento, isso se faz por meio de um gasômetro do tipo telescópico que aproveita o efeito do empuxo. O projeto do queimador de biogás, assim como o gasômetro, vem recebendo mudanças e evoluindo em relação ao projeto inicial. A Figura 1.1 ilustra o diagrama elétrico do projeto inicial do sistema queimador de biogás.

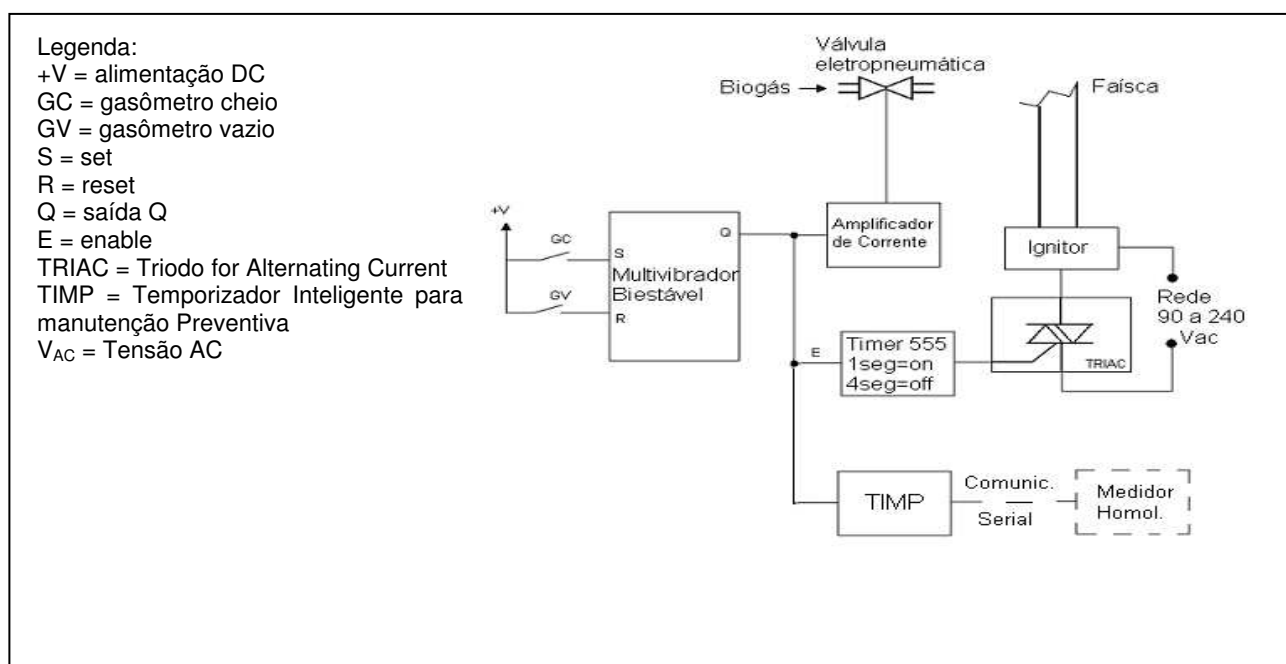


Figura 1.1 Diagrama elétrico do circuito do queimador de biogás
 Fonte: Marcelino e Godoy Junior (2011)

Em 2012 e 2013 foram feitas importantes modificações para evolução do projeto inicial. Simões (2012), implementou o circuito microcontrolado para contabilizar e registrar os créditos de carbono. Lima (2012), desenvolveu um novo circuito sensor de gasômetro cheio, à base de transistores, circuito que ainda seria evoluído novamente por Santos (2012) que implementaria o sensor de chama, que é um circuito que possui um coeficiente de variação de resistência que varia

negativamente, conforme o aumento da temperatura. Esse sensor envia o sinal de referência para a unidade de controle, informando a existência ou não da chama durante o processo de queima do biogás acumulado, acionando ou não o sistema de ignição, caso necessário. O sensor de chama opera em conjunto com o sensor de gasômetro cheio e otimiza o acionamento da ignição durante a etapa de queima do biogás, através de TRIAC's optoacopladores MOC3021. Santos (2012) também eliminou o sensor de acumulador vazio e implantou a interface RS-232 para comunicação externa. Carvalho (2013), implementou o Sensor Hall AD1301 que é um dispositivo eletrônico desenvolvido especialmente para a detecção de materiais ferromagnéticos, substituindo o sensor de acumulador cheio.

Este estudo, visa a implementação de um sistema de geração de energia, através da associação das tecnologias fotovoltaica e termoelétrica direta, objetivando a viabilidade da instalação em miniestações de tratamento de efluentes com baixa e inconstante vazão de biogás, possibilitando a sua instalação em locais que estejam distantes das redes convencionais de distribuição de energia elétrica, onde seria necessário uma quantidade muito grande de componentes e acessórios, tais como: postes, cabos, isoladores e transformadores para atender uma única e exclusiva carga (Bandeirante Energia, 2012).

O projeto visa também à redução das cargas conectadas aos sistemas convencionais de distribuição de energia, pois de acordo com o relatório mensal do Ministério de Minas e Energia (MME), em julho de 2013 o consumo mensal de energia foi de 44.702 GWh e a produção de energia elétrica no Brasil de junho de 2012 a julho de 2013 foi de 536,405 GWh, proporcionando uma geração média na ordem de 44,700 GWh/mês, ou seja, muito próximo da capacidade de geração (Fonte: MME, acesso em 01/09/2013).

1.3 DISCUSSÃO DO PROBLEMA

O biogás é uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbica da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros sanitários e dos efluentes industriais e esgotos domésticos tratados pelo processo anaeróbico

(CETESB, 2014). A Figura 1.2 ilustra o sistema de geração, coleta e tratamento dos efluentes.

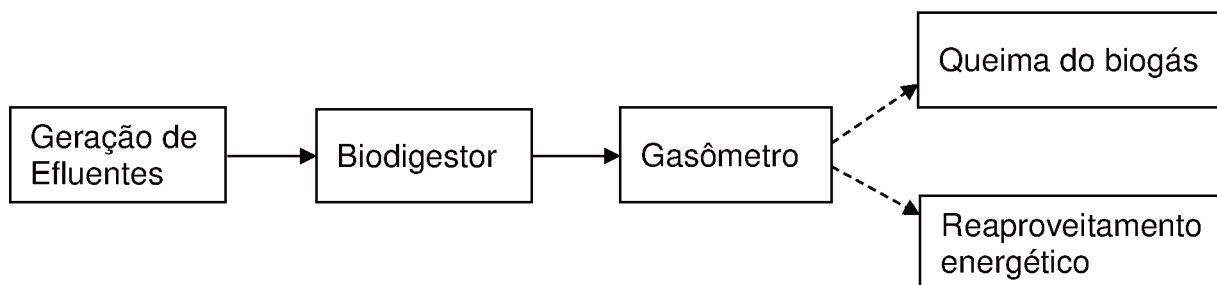


Figura 1.2 Diagrama do sistema de geração, coleta e tratamento do efluente

Essa mistura gasosa é formada principalmente por CH_4 e CO_2 e quanto maior a fração de CH_4 , mais energia por unidade de massa o biogás contém. Há ainda dezenas de substâncias, como o gás sulfídrico (H_2S), causador de mau cheiro e traços de siloxinas, que reduzem a vida útil dos equipamentos de uso energético, e vapor d'água.

Em se tratando de efeito estufa, em longo prazo a Terra deve irradiar energia para o espaço na mesma proporção em que a absorve do Sol, mantendo estáveis as condições climáticas (como a temperatura), o regime de chuvas, o nível do mar e as estações do ano. A energia solar chega ao planeta na forma de radiação de ondas curtas. Parte dessa radiação é refletida e repelida pela superfície terrestre e através da atmosfera. A maior parte, contudo, passa pela atmosfera para aquecer a superfície terrestre e a Terra devolve essa energia ao espaço na forma de irradiação infravermelha de ondas longas (Alves, J. W. S *et al*, Biogás: Projetos e Pesquisas no Brasil, 2006).

O efeito estufa é causado por gases na atmosfera, principalmente vapor d'água e dióxido de carbono, permitindo que a radiação solar de ondas curtas atinja a superfície do planeta enquanto absorvem grande quantidade de ondas longas irradiadas da Terra e da atmosfera. Devido à capacidade desses gases funcionarem de maneira semelhante a uma estufa de calor, a temperatura próxima à superfície da Terra é cerca de 30°C superior à que seria sem o efeito chamado de estufa natural (Alves, J. W. S *et al*, Biogás: Projetos e Pesquisas no Brasil, 2006).

Como resultado do aumento na concentração de gases decorrente das atividades humanas (poluição antropogênica), os cientistas preveem que o efeito estufa se intensifique com o conseqüente aumento das temperaturas, já observado atualmente (Alves, J. W. S *et al*, Biogás: Projetos e Pesquisas no Brasil, 2006).

Os gases que desempenham papel maior nesse processo, chamados gases de efeito estufa (GEE), são: vapor d'água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e clorofluorcarbonos (CFCs). Os GEE representam menos de um centésimo da atmosfera total. Quase todos esses gases têm origem na natureza, quer seja pela respiração, pela digestão anaeróbia, ou por meio de incêndios naturais, entre outros. Os CFCs foram desenvolvidos sinteticamente no século XX. Existem mais de setenta GEE, entretanto, os principais gases responsáveis pelo efeito estufa estão relacionados na Tabela 1.1 (Alves, J. W. S *et al*, Biogás: Projetos e Pesquisas no Brasil, 2006).

Tabela 1.1 – Principais gases responsáveis pelo efeito estufa

Espécies	Fórmula química	Tempo de vida (anos)	Potencial de aquecimento global em função do tempo (anos)		
			Em 20 anos	Em 100 anos	Em 500 anos
Gás carbônico	CO ₂	Variável	1	1	1
Metano	CH ₄	12 ± 3	56	21	6,5
Óxido nitroso	N ₂ O	120	280	310	170
Ozônio	O ₃	0,1 – 0,3	n.d	n.d	n.d

Fonte: Biogás, Pesquisas e Projetos no Brasil – 2006 (adaptada pelo autor)

n.d = não disponível

Embora a literatura descreva que os impactos do CH₄ seja 21 vezes mais agressivos ao meio ambiente, se comparado ao CO₂, a Tabela 1.1 indica que nos primeiros 20 anos, o impacto do CH₄ é 56 vezes maior, se comparado ao CO₂.

A composição do biogás é difícil de ser definida, pois depende do material orgânico utilizado e do tipo de tratamento anaeróbio que sofre. Contudo, em linhas gerais, o biogás é uma mistura gasosa composta principalmente pelos gases descritos na Tabela 1.2.

Tabela 1.2: Composição do biogás

Gás	Volume do gás produzido (%)
Metano (CH ₄)	50 a 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	25 a 50
Hidrogênio (H ₂)	0 a 1
Gás sulfídrico (H ₂ S)	0 a 3
Oxigênio (O ₂)	0 a 2
Amoníaco (NH ₃)	0 a 1
Nitrogênio (N ₂)	0 a 7

Fonte: CETESB (2014)

1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

O trabalho está apresentado na forma descrita a seguir:

O capítulo 1 apresenta a introdução, objetivo, motivação e discussão do problema.

O capítulo 2 apresenta o efeito fotovoltaico e o quanto esse fenômeno pode ainda ser explorado no Brasil.

O capítulo 3 apresenta o armazenador de energia, características das baterias empregadas no estudo.

O capítulo 4 apresenta a tecnologia termoelétrica direta de geração de energia.

O capítulo 5 apresenta o sistema queimador de biogás e toda a sua evolução.

O capítulo 6 apresenta o sistema de geração, objeto de pesquisa deste trabalho.

O capítulo 7 apresenta as implementações e resultados do estudo sobre o sistema de geração de energia.

O capítulo 8 apresenta as conclusões do estudo.

2.0 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839, foi confirmado por Heinrich Hertz em 1887, e posteriormente explicado por Albert Einstein, em 1905. Consiste na conversão direta de luz solar em energia elétrica, diferentemente dos sistemas solares térmicos, que são empregados para realizar aquecimento ou para produzir eletricidade a partir da energia térmica do sol. Os sistemas fotovoltaicos têm a capacidade de captar diretamente a luz solar e produzir corrente elétrica através da criação de uma diferença de potencial sobre uma célula formada por materiais semicondutores.

Quando o painel fotovoltaico recebe os fótons de radiação eletromagnética, os elétrons da banda de valência do material semicondutor saltam da banda de condução, produzindo uma corrente elétrica no interior da estrutura cristalina do semicondutor.

A Figura 2.1 ilustra o material semicondutor recebendo os raios solares e o surgimento de uma d.d.p entre as células compostas de materiais semicondutores

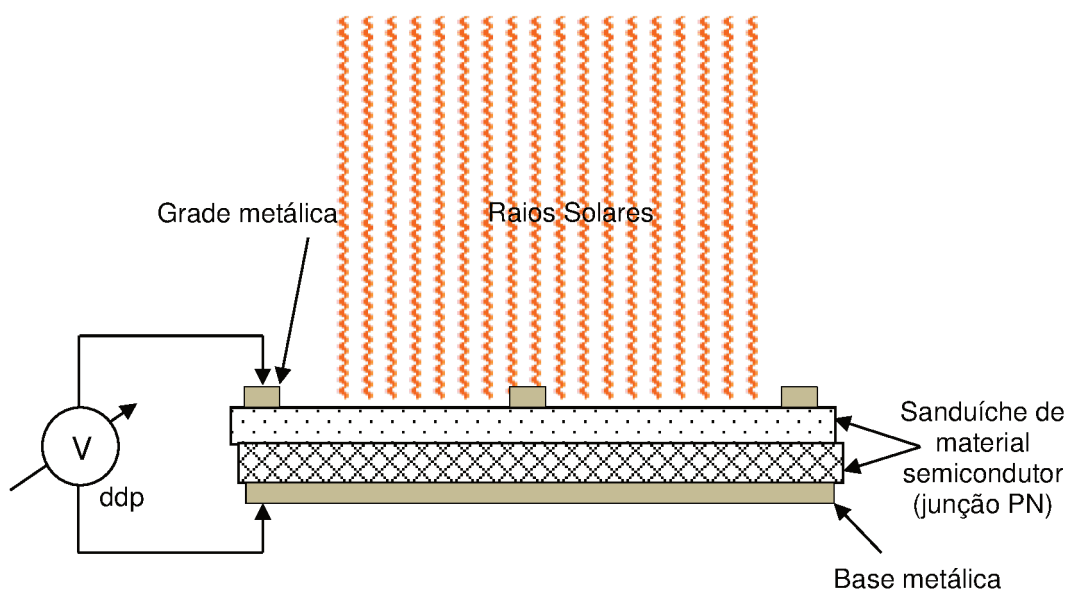


Figura 2.1: Efeito Fotovoltaico
Fonte: Villalva e Gazola, 2012 (adaptada pelo autor)

Uma célula fotovoltaica é composta basicamente pela junção de materiais semicondutores tipos P e N, no qual o material N possui um excedente de elétrons e

o material P apresenta falta de elétrons. Devido à diferença de concentração de elétrons nas duas camadas de materiais, os elétrons da camada N fluem para a camada P e criam o campo elétrico dentro de uma zona de depleção no interior da estrutura da célula, também conhecida como barreira de potencial. A Figura 2.2 ilustra a junção dos materiais com formação de barreira de potencial e consequentemente geração de corrente elétrica, quando expostos a luz.

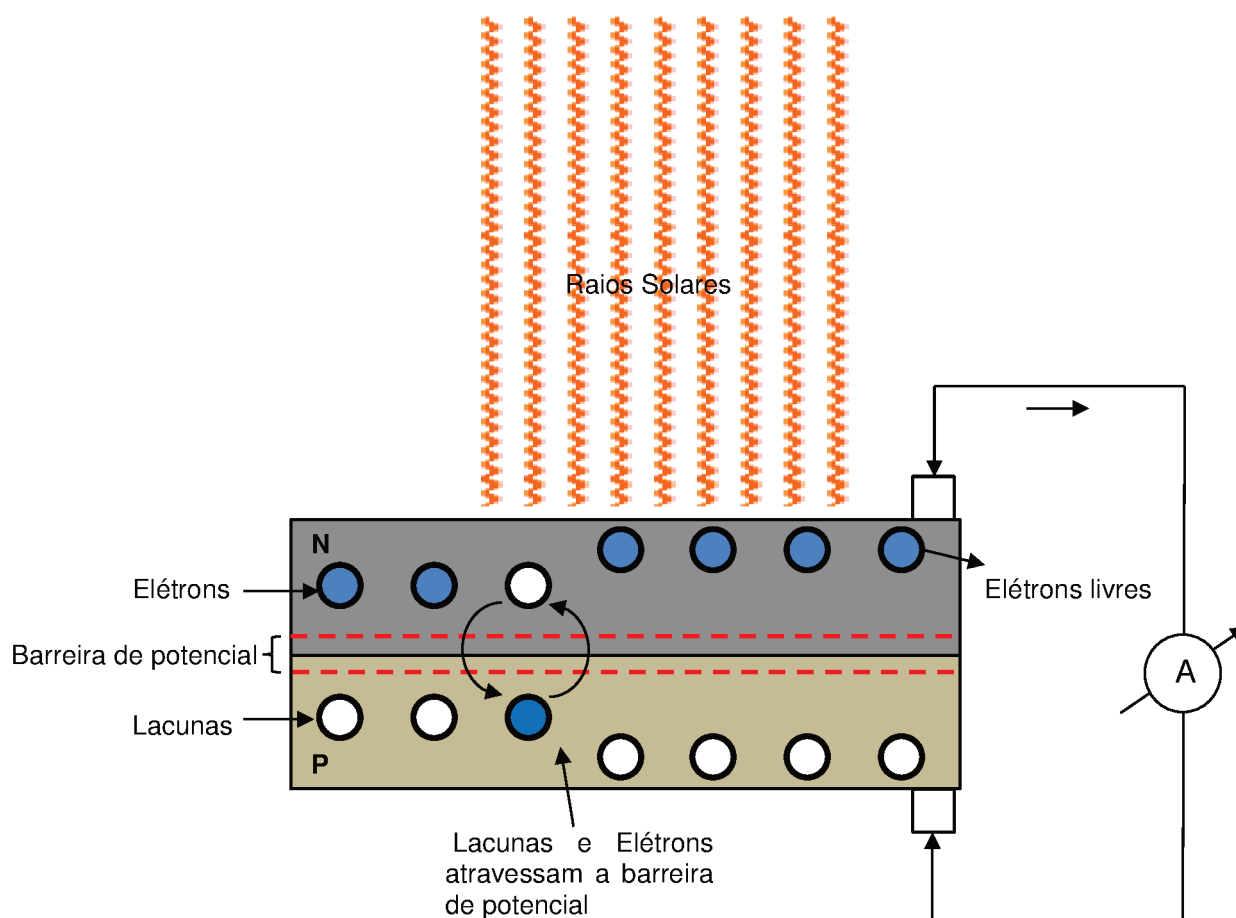


Figura 2.2: Junção dos materiais P e N
Fonte: Villalva e Gazoli, 2012 (adaptada pelo autor)

Existem diversas tecnologias para fabricação de células e módulos fotovoltaicos, e com os diversos materiais empregados na fabricação das células fotovoltaicas levam a obtenção de células e módulos com eficiências maiores ou menores. As tecnologias de células fotovoltaicas mais empregadas no mercado são as de silício monocristalino, silício policristalino e filme fino de silício. As células de

silício monocristalino são as mais eficientes, em torno de 15% a 18%, as demais possuem eficiências que variam de 8,5% a 15%, dependendo da tecnologia.

Os sistemas fotovoltaicos, podem gerar energia de forma ecologicamente correta e renovável, por se tratar de uma tecnologia que não agride ao meio ambiente, possuir uma vida útil de aproximadamente 25 anos e fornecer energia com uma boa regularidade, superando os sistemas eólicos de geração de energia que dependem da região onde serão instalados e também da regularidade dos ventos nessa região.

A Figura 2.3 ilustra a faixa da composição do espectro da radiação solar, destacando o comprimento de onda visível dentro do espectro de luz emitido pelo Sol (GERRINI, 2008).

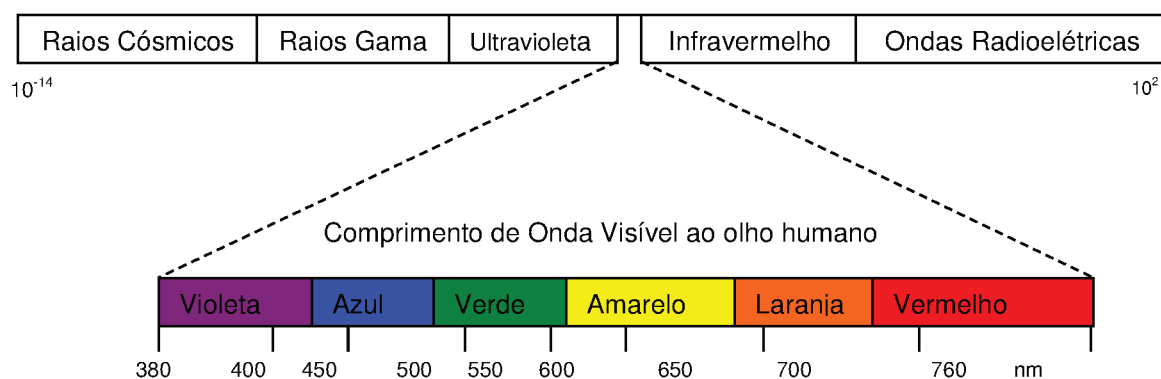


Figura 2.3 – Espectro de radiação solar
Fonte: Guerrini, 2008 (Adaptada pelo autor)

2.1 INFLUÊNCIA DA MASSA DE AR

O painel fotovoltaico deve ser posicionado mediante a localização geográfica, pois, a distribuição de energia do espectro depende da localização geográfica, da hora do dia, das condições climáticas de cada região, da composição da atmosfera da altitude e de diversos outros fatores.

A radiação solar sofre diversas alterações quando atravessa a atmosfera terrestre. As características da radiação solar que chega ao solo dependem da espessura da camada de ar e da composição da atmosfera, incluindo o ar e os elementos suspensos, como vapor de água e a poeira. A espessura da camada de ar pode influenciar a transposição dos raios solares em sua trajetória até o solo, uma

vez que isso depende do ângulo de inclinação do sol com relação a linha do zênite, ou ângulo zenital do sol, conforme ilustração da Figura 2.4.

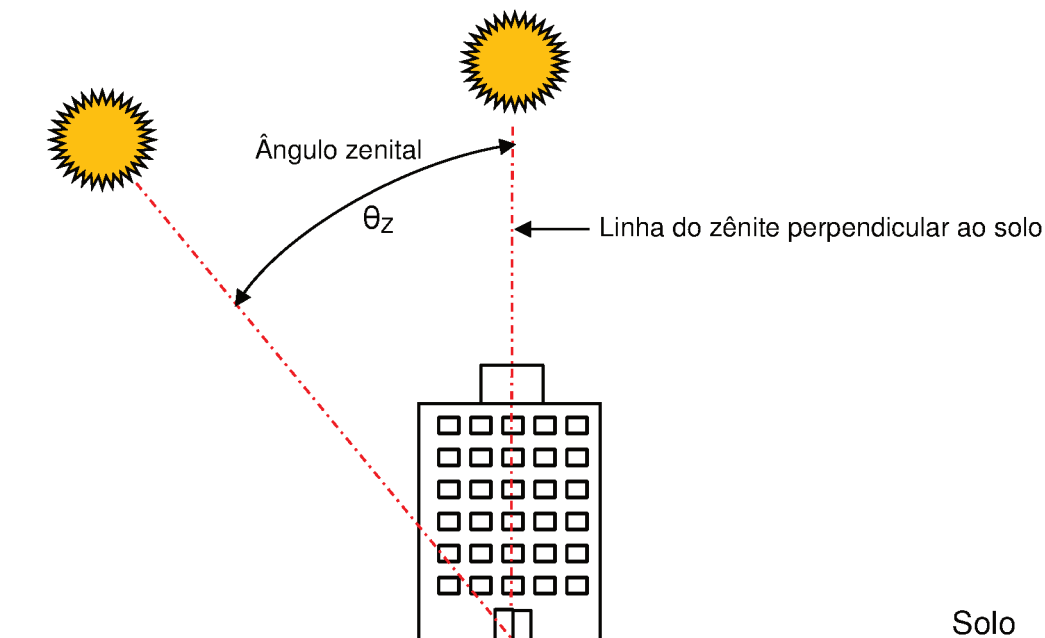


Figura 2.4: Ângulo zenital e linha do zênite
Fonte: Villalva e Gazoli, 2012 (Adaptada pelo autor)

A massa de ar é internacionalmente definida pela sigla AM (Air Mass) e calculada como:

$$AM = 1 / \cos \theta_z$$

Onde: θ_z é o ângulo zenital do Sol em relação a linha do zênite que está perpendicular ao solo.

O ângulo zenital do Sol influencia na trajetória dos raios solares, quanto maior o ângulo, maior será a camada de ar (mais espessa) e maior a trajetória a ser percorrida pelos raios solares. A Figura 2.5 ilustra o quanto a massa de ar depende do ângulo zenital do sol.

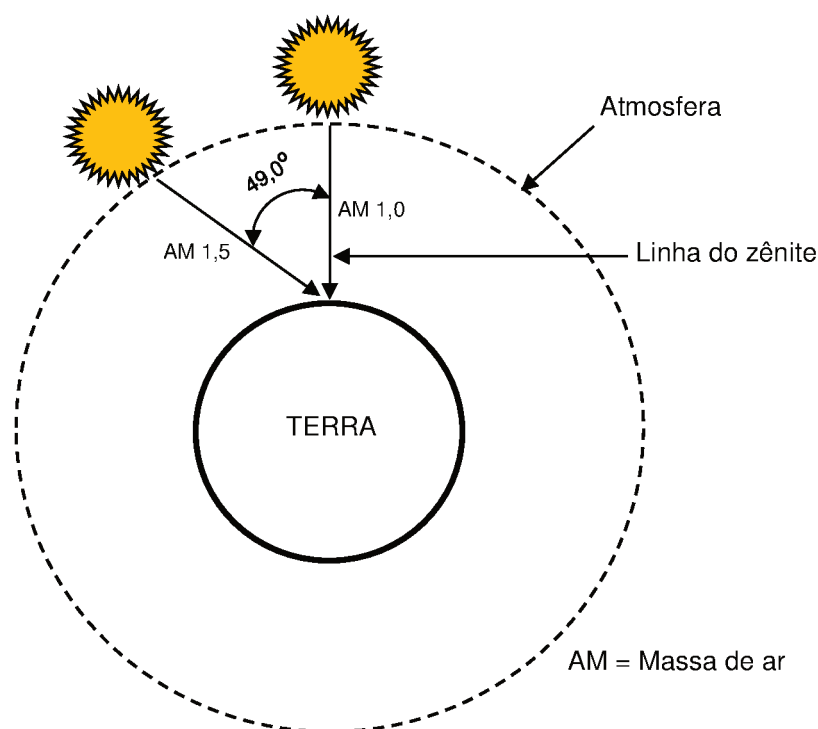


Figura 2.5: Influência do Ângulo zenital do Sol na massa de ar
 Fonte: Villalva e Gazoli, 2012 (adaptada pelo autor)

A radiação solar sofre efeitos diferentes ao cruzar a atmosfera, dependendo da região do planeta em que for feita a análise. A distribuição espectral AM 1,5 corresponde ao comportamento médio da radiação solar ao longo de um ano em países temperados do hemisfério norte, abrangendo basicamente a América do Norte, o norte da África, Europa e Ásia. Nos países localizados na zona tropical do planeta, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, os raios solares incidem com ângulos azimutais menores e, portanto, sujeitos a massas de ar reduzidas, razão pela qual são regiões mais quentes e mais iluminadas, se comparadas com as regiões temperadas.

Analisando as condições ilustradas na Figura 2.5, é possível observar que a medida que o Sol se afasta do eixo da linha do zênite a massa de ar tende a aumentar o que contribui para alterações nas radiações solares que atingem os painéis fotovoltaicos.

A massa de ar AM 1,5 e sua distribuição espectral de energia passou a ser um padrão para o estudo e desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, é usada mundialmente como referência e citada praticamente em todos os catálogos de fabricantes de células e módulos fotovoltaicos já que a tecnologia foi desenvolvida nos países do hemisfério norte.

A Figura 2.6 ilustra uma distribuição AM 1,5, oriunda de um ângulo zenital $\theta=49^\circ$, ilustra também uma distribuição AM 0, que corresponde à radiação solar no espaço extraterrestre, sem a influência da atmosfera.

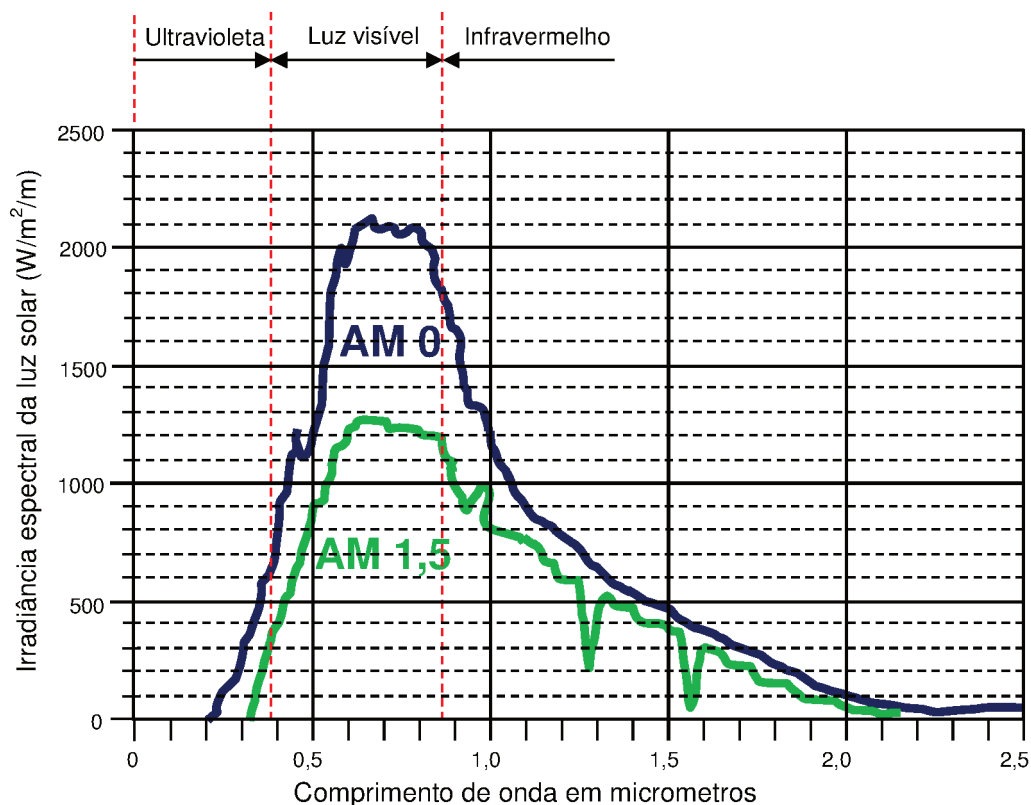


Figura 2.6: Características da radiação solar nas massas de ar AM 1,5 e AM 0
Fonte: Pereira e Oliveira, 2011 (adaptada pelo autor)

Os raios solares são ondas eletromagnéticas paralelas entre si, que chegam a Terra em linha reta. Ao cruzarem a atmosfera terrestre sofrem os efeitos da difusão e são desviados e refletidos em todas as direções, no entanto, a maior parte deles, que corresponde à radiação direta, continua sua trajetória em linha reta.

A radiação direta é a radiação solar que incide diretamente na superfície da terra. A radiação difusa advém da dispersão da radiação ao passar pela atmosfera. A radiação de albedo é a parte da radiação solar refletida pela superfície da Terra, é a quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície. A radiação total é a soma de todas as radiações. A Figura 2.7 ilustra o comportamento das radiações sobre a Terra (PEREIRA e OLIVEIRA, 2011).

A inclinação dos raios solares em todo planeta incidem sobre o solo com variações diferentes ao longo dos dias e meses do ano, em função da posição da

Terra e do Sol no espaço. Não há como melhorar a captação da radiação difusa por se tratar de ondas que chegam à terra de forma irregular e aleatória. Dentro desse contexto, deve se montar os painéis fotovoltaicos de forma a maximizar a captação da radiação direta, melhorando assim sua eficiência.

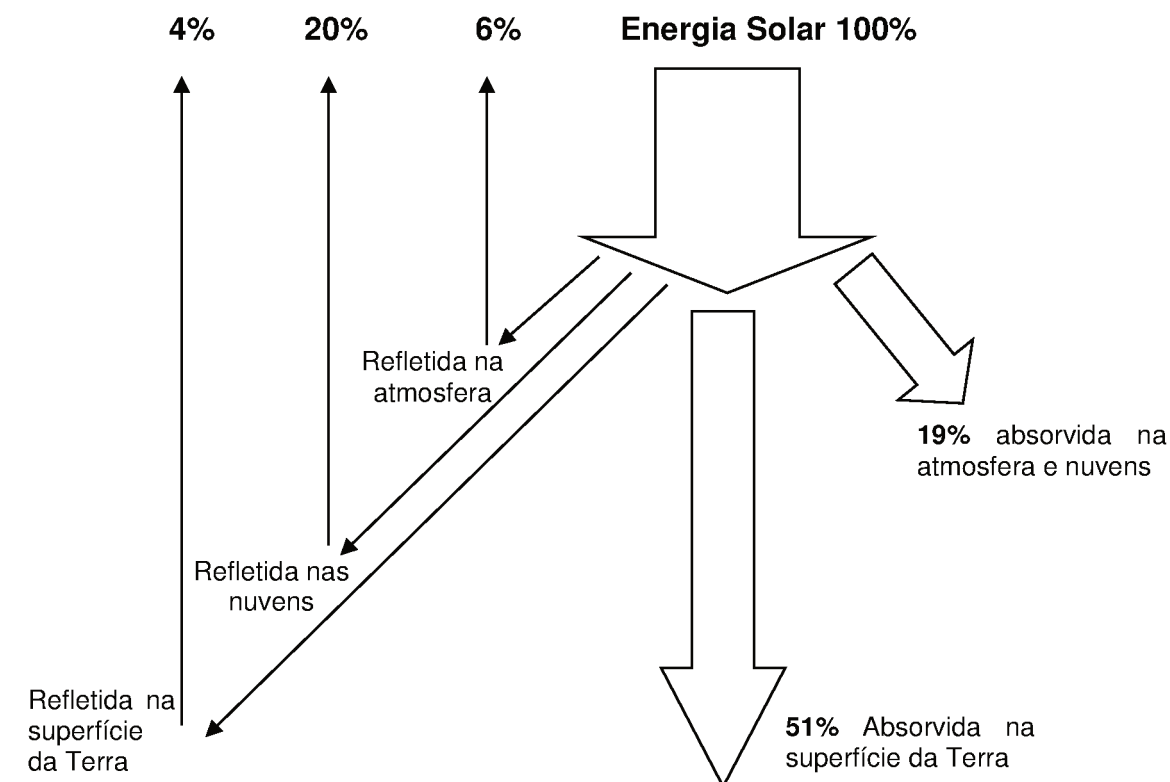


Figura 2.7: Tipos de Radiações Incidentes na Terra
 Fonte: Pereira e Oliveira, 2011, adaptada pelo autor

Quando um observador localizado no hemisfério sul, abaixo da linha do equador, olhar para o Norte, verá o Sol com ângulos variáveis do seu lado direito no período da manhã e do lado esquerdo no período da tarde.

Ao meio-dia solar, que é o ângulo entre o Sol e o meridiano local, onde o observador vê o Sol exatamente à sua frente ou acima, dependendo da época do ano conforme ilustração da Figura 2.8 (quando o astro atinge o topo do seu movimento), o que representa o ângulo Azimutal zero. No hemisfério sul, quando o ângulo do azimute solar coincide com o norte polar da Terra, o seu ângulo azimutal é zero e essa situação é chamada de meio-dia solar. Para observadores localizados no hemisfério norte, o ângulo azimutal é medido em relação ao sul geográfico. Quando o ângulo azimutal é nulo, o Sol está na metade do trajeto que percorre do

instante que nasce até o instante em que se põe (meio-dia-solar). Nem sempre o ângulo azimutal zero coincide com o meio-dia horário.

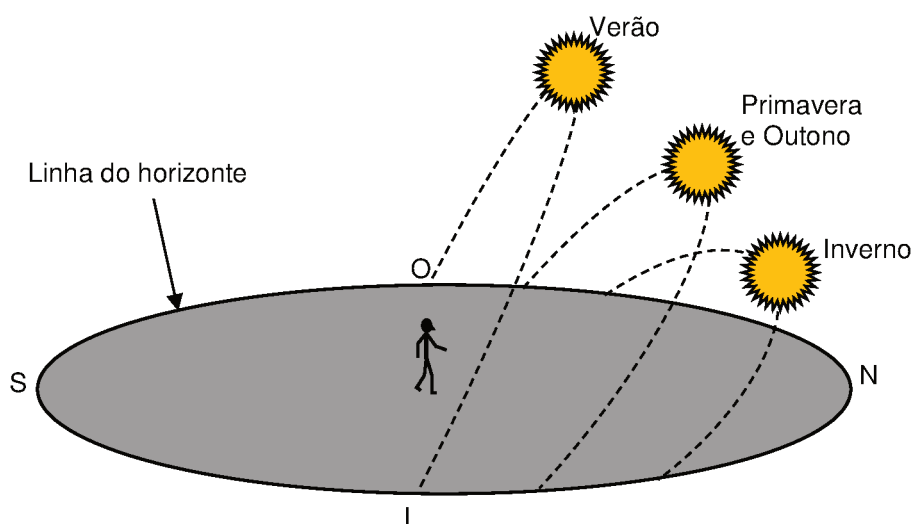


Figura 2.8: Diferente movimento aparente do Sol ao longo do ano
Fonte: Pereira e Oliveira, 2011 (adaptada pelo autor)

2.2 POSICIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A instalação correta de um painel fotovoltaico deve levar em conta o movimento diário do Sol. Se o painel for instalado com sua face voltada para o Leste é menos eficiente, pois aproveita melhor a luz solar somente no período da manhã. No período da tarde, após o meio dia solar, os raios solares deixam de incidir diretamente sobre a face do painel solar fotovoltaico, o que reduz o aproveitamento da energia. Da mesma forma se o painel fotovoltaico for instalado com sua face voltada para o Oeste, nesse caso, aproveitará com mais eficiência somente os raios solares do período da tarde.

Para um melhor aproveitamento da energia dos raios solares, o painel fotovoltaico deve ser instalado com sua face voltada para o norte geográfico. Esse posicionamento, melhora o aproveitamento da luz solar ao longo de todo o dia, pois durante todo o tempo o painel solar fotovoltaico terá raios solares incidindo sobre sua superfície, com maior incidência ao meio-dia solar, ou seja, com um ângulo azimutal nulo, indicando que o Sol já está na metade da trajetória percorrida desde o instante em que nasce até o instante em que se põe. O ângulo Azimutal é a

orientação dos raios solares com relação ao norte geográfico na Terra, para observadores localizados no hemisfério sul. Para observadores localizados no hemisfério norte, o ângulo azimutal é medido em relação ao sul geográfico.

O Sol durante sua trajetória, desde o nascente até o poente, descreve diferentes ângulos azimutais durante o dia, conforme ilustra a Figura 2.9, e o melhor posicionamento do painel solar será com a sua face voltada para o norte geográfico, de frente como o Sol no meio-dia solar (ângulo azimutal nulo).

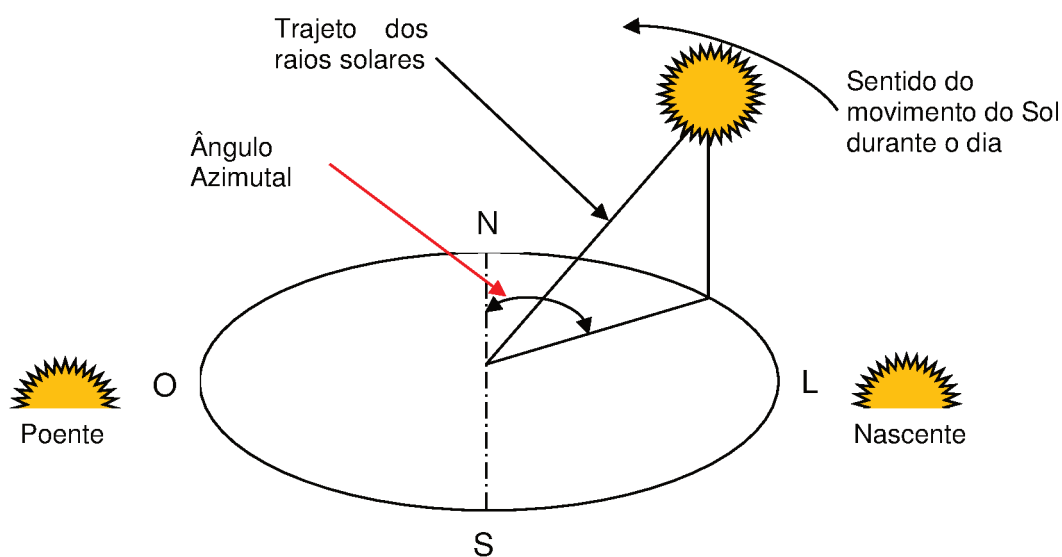


Figura 2.9: Ângulo Azimutal
Fonte: Villalva e Gazoli, 2012, adaptada pelo autor.

O sistema de geração fotovoltaico pode proporcionar geração de energia elétrica sem riscos ou danos ao meio ambiente e depende única e exclusivamente dos raios solares que estão presentes em todo o planeta, com maior ou menor nível de insolação, dependendo do clima, topografia e localização, dentre outros fatores.

O Brasil tem um enorme potencial de exploração desse sistema de geração, pois possui níveis de insolação que variam de 4500 a 6100 Wh/m²/dia (MME, 2014).

2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

A Figura 2.10 ilustra um sistema fotovoltaico de geração de energia, que basicamente é composto por painel fotovoltaico, controlador de carga, bateria e inversor:

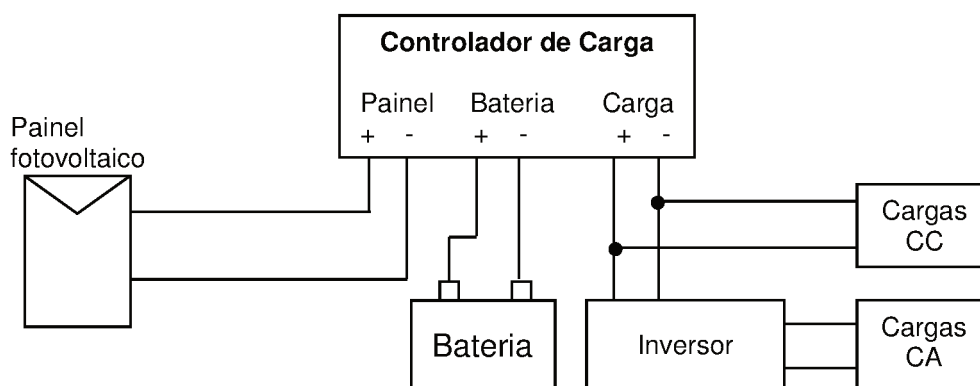


Figura 2.10: Montagem básica de um sistema fotovoltaico
Fonte: ANEEL (adaptada pelo autor)

As células fotovoltaicas, painéis fotovoltaicos e associações de painéis fotovoltaicos podem fornecer características elétricas diferentes, dependendo da tecnologia, do material de fabricação, da quantidade e também da associação. Quanto maior o número de células e/ou de painéis fotovoltaicos associados, maior é a energia gerada, conforme ilustração da Figura 2.11.

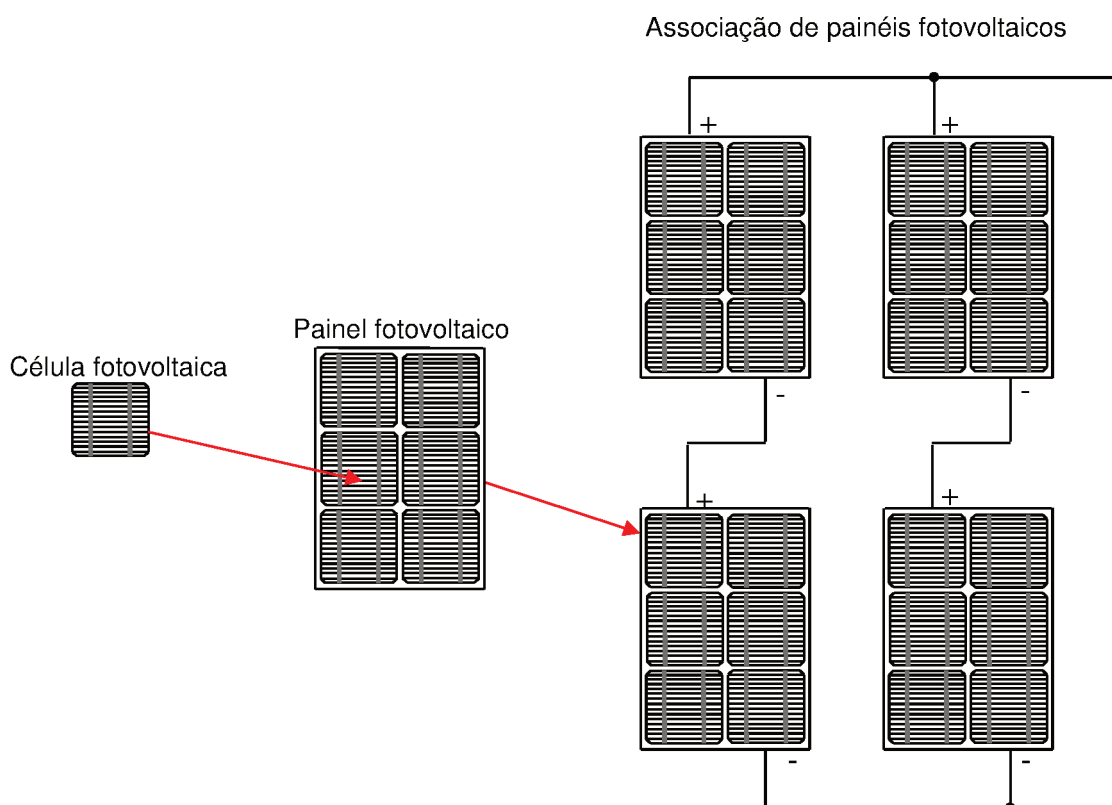


Figura 2.11: Associação de células e painéis fotovoltaicos
Fonte: Autor

Os painéis fotovoltaicos podem ser encontrados nas mais diversas características elétricas, conforme configuração das células e características de material utilizado na manufatura.

A Tabela 2.1 descreve exemplos e características elétricas de alguns painéis fotovoltaicos do fabricante Kyocera, apropriados para uso em arranjos diferentes para cada aplicação.

Tabela 2.1: Módulos Solares Kyocera

Especificações elétricas/Modelos	KS5	KS10	KS20	KS90
Potência Nominal (PN)	5 Wp	10 Wp	20 Wp	90 Wp
Tensão (PN)	17,4 V	17,4 V	17,4 V	17,4 V
Corrente (PN)	0,29 A	0,58 A	1,16 A	5,10 A
Tensão de circuito aberto	21,7 V	21,7 V	21,7 V	21,7 V
Corrente de curto circuito	0,31 A	0,63 A	1,26 A	5,60 A

Fonte: www.kyocera.com.br (acesso em 23/01/2014)

Nota: As especificações elétricas são para as condições de 1000 W/m^2 , espectro de 1.5 da massa de ar e temperatura das células de 25° C .

Os sistemas fotovoltaicos devem obrigatoriamente utilizar o controlador de carga que tem como finalidade proporcionar a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a mesma seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente, o que reduziria sua vida útil.

O controlador de carga monitora o valor da tensão nos terminais da bateria, impedindo que a bateria continue sendo carregada quando a tensão máxima de carga é atingida, neste momento o controlador de carga desconecta automaticamente o painel fotovoltaico do sistema.

Os controladores de carga convencionais utilizados nos sistemas fotovoltaicos possuem basicamente duas funções: desconectar o painel fotovoltaico quando a bateria está completamente carregada e desconectar o consumidor quando a bateria atinge um nível de carga muito baixo. Para isso possuem dois circuitos de chaveamento, conforme ilustração da Figura 2.12, que atuam conforme a necessidade do sistema e são conhecidos como controladores do tipo Liga/Desliga. Apesar da importância dos controladores de carga, no momento em que a bateria está carregada e o sistema desliga o painel fotovoltaico, toda energia gerada pelo painel fotovoltaico é desperdiçada. Neste caso, para preservar a vida útil do painel fotovoltaico, deve-se usar um sistema de chaveamento para inserir um resistor aos terminais do painel fotovoltaico durante a sua desconexão com a carga principal, garantindo o consumo da energia gerada e não consumida pela carga principal.

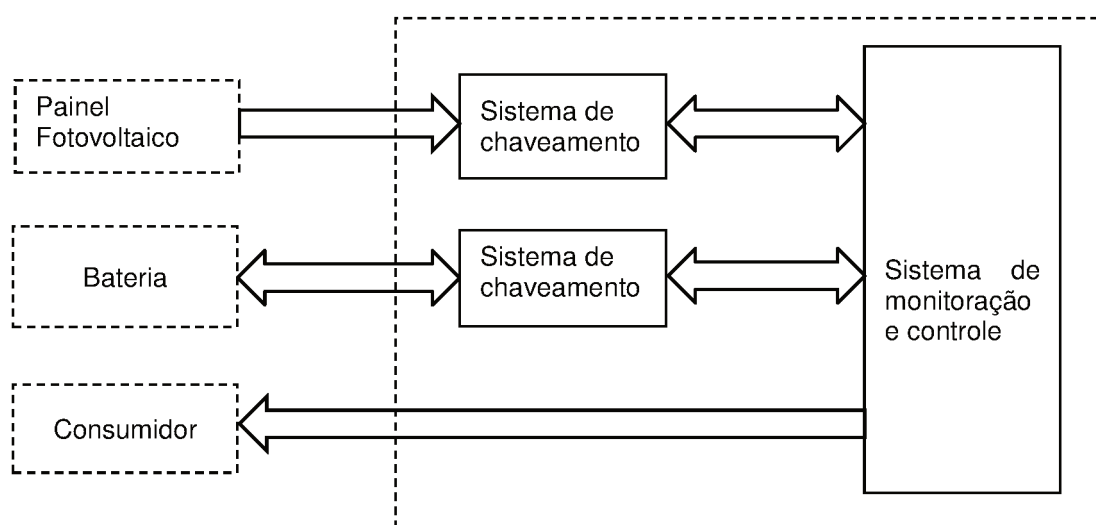


Figura 2.12: Controlador de Carga
Fonte: Autor

Nos sistemas fotovoltaicos de geração de energia, a conversão de luz solar em energia elétrica só acontece durante o período de Sol nascente e Sol poente. Em dias nublados e ou chuvosos, o sistema tem sua geração afetada, reduzindo a quantidade de energia gerada e durante a noite o sistema não gera nenhuma energia. Portanto, toda energia gerada durante o dia deve ser armazenada em baterias para que o sistema possa fornecer energia para a carga durante os períodos em que o sistema gere pouca ou nenhuma energia.

O inversor é um circuito eletrônico, que tem a função de converter a eletricidade de tensão e corrente contínua (V_{CC}) em tensão e corrente alternada (V_{CA}), entretanto, se a carga conectada ao painel fotovoltaico operar com tensão e corrente contínua, o uso do inversor não é necessário. A Figura 2.13, ilustra o circuito eletrônico de um inversor básico, usando ponte H.

No sistema do gasômetro há necessidade de um inversor devido ao ignitor e a válvula eletromecânica.

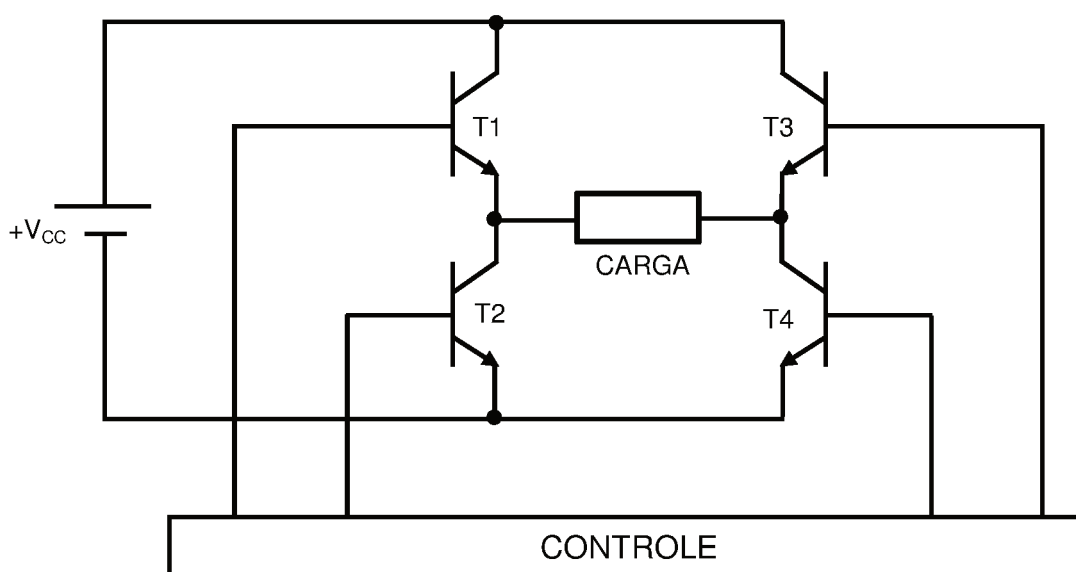


Figura 2.13: Circuito Eletrônico do Inversor
Fonte: Autor

3 ARMAZENADOR DE ENERGIA

Nos sistemas fotovoltaicos, a geração de energia é variável em função das variações climáticas ao longo do dia, isso sem falar que durante o período noturno não há geração de energia.

Nesse contexto, o uso de baterias é necessário para proporcionar um fornecimento constante de energia para a carga. Isso permite que a carga faça uso da energia durante os períodos em que há pouca ou nenhuma radiação solar, períodos em que o sistema fica totalmente dependente da energia armazenada na bateria. A Figura 3.1 ilustra uma bateria de chumbo-ácida.



Figura 3.1: Bateria de Chumbo-Ácida
Fonte: Autor

O uso de baterias nos sistemas fotovoltaicos é muito importante para que se tenha uma tensão de saída estabilizada, pois, a tensão fornecida pelo painel fotovoltaico não é constante em função das variações climáticas durante o dia. Isso faz com que a bateria funcione como um armazenador de energia e também como um acoplador entre o módulo e o sistema.

As baterias podem ser utilizadas isoladamente ou associadas, dependendo das necessidades. Uma associação de baterias ou banco de baterias é utilizada quando se deseja mudar os valores de fornecimento de tensão e/ou corrente para o sistema. Uma associação em série proporciona tensões maiores e uma associação

em paralelo proporciona um acúmulo maior de energia e conseqüentemente, pode fornecer mais corrente elétrica.

Existem diversas baterias no mercado, sendo as baterias de chumbo ácido as mais utilizadas. No entanto, as baterias de níquel são mais caras e mais duráveis e podem ser mais adequadas principalmente em regiões remotas onde existe a dificuldade para manutenção e acesso.

Nas aplicações fotovoltaicas não se recomenda o uso de baterias automotivas convencionais, deve-se utilizar baterias estacionárias que foram desenvolvidas especificamente para sistemas fotovoltaicos e outros sistemas que necessitam de armazenamento de energia para a alimentação de equipamentos eletroeletrônicos. A diferença básica entre as baterias estacionárias e as baterias automotivas é que as baterias automotivas foram desenvolvidas para fornecer grande intensidade de corrente elétrica por um curto período de tempo, sofrendo rápidas descargas durante o acionamento do motor, necessitando a recarga imediata logo após o uso. Já as baterias estacionárias podem ser utilizadas por um longo tempo e descarregadas até atingir a porcentagem menor de sua carga máxima sem se danificar.

Durante a noite, o sistema fotovoltaico deixa de armazenar energia nas baterias. E a partir desse momento, as cargas conectadas ao sistema fotovoltaico passam a consumir a energia armazenada na bateria, até o nascer do Sol do dia seguinte, quando o sistema passa a receber novamente os raios solares transformando-os em energia novamente.

4.0 SISTEMA TERMOELÉTRICO DIRETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Os módulos termoelétricos de geração de energia convertem energia térmica em energia elétrica. Ao se aplicar uma diferença de temperatura em suas faces, é possível obter energia elétrica em seus terminais (Efeito *Seebeck*). Ou ainda, é possível obter diferença de temperatura em suas faces ao aplicar tensão elétrica em seus terminais (Efeito *Peltier*).

Quanto maior a diferença de temperatura aplicada a suas faces, maior será a energia elétrica gerada. A tecnologia termoelétrica direta de geração de energia é um sistema que ainda encontra-se em desenvolvimento em todo o mundo, e não existe uma literatura a respeito, a não ser catálogos de fabricantes. Os melhores resultados, em termos de eficiência gira em torno de 4% (SENOIDAL, 2013).

Quando um diferencial de temperatura é estabelecido entre as extremidades dos módulos termoelétricos, uma tensão é gerada, conhecida como tensão de *Seebeck*. Na prática é necessário um grande número de pares termoelétricos conectados eletricamente em série para formar um módulo (CASTRO, *et al*, 2013).

O módulo termoelétrico é produzido por uma tecnologia à base de material cerâmico que converte uma fonte de temperatura (quente ou fria) em eletricidade, podendo trabalhar com temperaturas constantes de até 330°C ou ainda temperaturas intermitentes de até 400°C. Os módulos podem gerar tensões de corrente contínua proporcionais à diferença de temperatura (ΔT) aplicada nas faces do módulo (Thermonamic, 2012).

A tensão gerada aumenta à medida que a diferença de temperatura aplicada às faces do módulo for aumentando e sua eficiência também depende da qualidade do contato da superfície do módulo termoelétrico com a superfície da região geradora de calor. Quanto melhor o contato, melhor é a eficiência do módulo gerador termoelétrico e em muitos casos, o uso de películas de grafite (que suportam grandes temperaturas) se faz necessário entre o módulo termoelétrico e a superfície geradora de calor, permitindo uma melhora do contato, em função das imperfeições das superfícies (SENOIDAL, 2012). A Figura 4.1 ilustra o módulo termoelétrico direto.

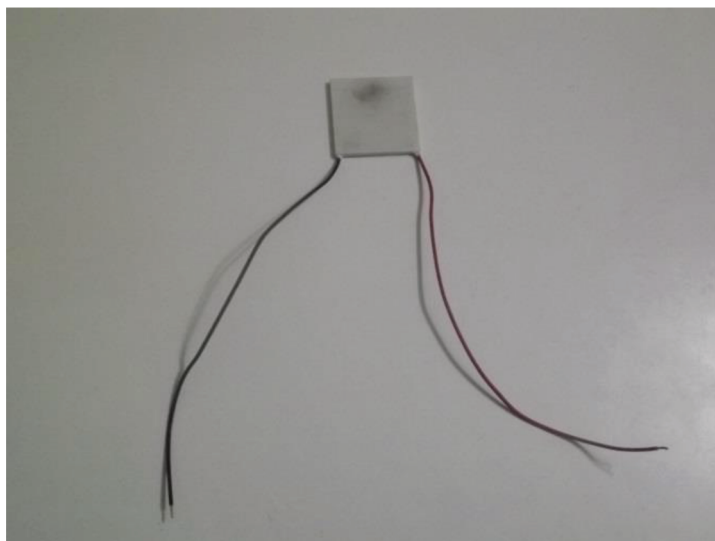


Figura 4.1 – Módulo Termoelétrico Direto
Fonte: Autor

As Figuras 4.2 e 4.3 ilustram um módulo termoelétrico com uma dimensão específica para uma condição de geração de energia, que vai depender do tamanho do módulo e da diferença de temperatura aplicada às suas faces. Essas medidas podem mudar dependendo da tensão desejada (Thermonamic, 2012).



Figura 4.2: Vista lateral do módulo termoelétrico
Fonte: Thermonamic Electronics, 2012 (adaptada pelo autor)

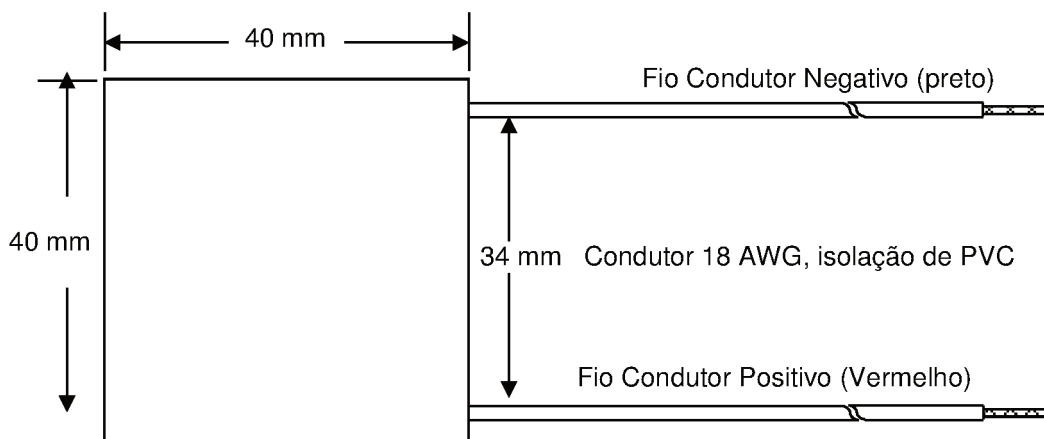


Figura 4.3: Vista superior do módulo termoelétrico
Fonte: Thermonamic Electronics, 2012 (adaptada pelo autor)

De forma análoga aos painéis fotovoltaicos, quando se faz a associação de módulos termoelétricos, pode se aumentar a quantidade de energia gerada, ou seja, conectando os módulos em série pode se obter uma maior tensão. Já a com conexão dos módulos em paralelo pode se obter um maior fluxo de corrente elétrica (SENOIDAL, 2013).

A qualidade do contato do módulo com a superfície geradora de calor deve ser a melhor possível entre as superfícies em contato, de forma que a face do módulo que está em contato com a superfície geradora de calor (ou frio) seja bem uniforme. Como a superfície do módulo e da área de contato possuem imperfeições, se faz necessário utilizar mecanismos para melhorar a qualidade do contato e a película de grafite, ilustrada através da Figura 4.4, é um recurso bastante utilizado e que tem apresentado bons resultados (SENOIDAL, 2013).



Figura 4.4 – Película de grafite
Fonte: Autor

O grafite é um material que suporta altas temperaturas, por isso, a película de grafite é usada entre o módulo termoelétrico e a superfície geradora de calor e em determinadas aplicações pode substituir a pasta térmica. É o recurso que tem apresentado melhor performance em termos de melhorar a qualidade do contato entre o módulo e a superfície geradora de calor (SENOIDAL, 2013). A Figura 4.5 ilustra a forma como deve ser montada a película de grafite entre o módulo termoelétrico e a superfície geradora de calor.

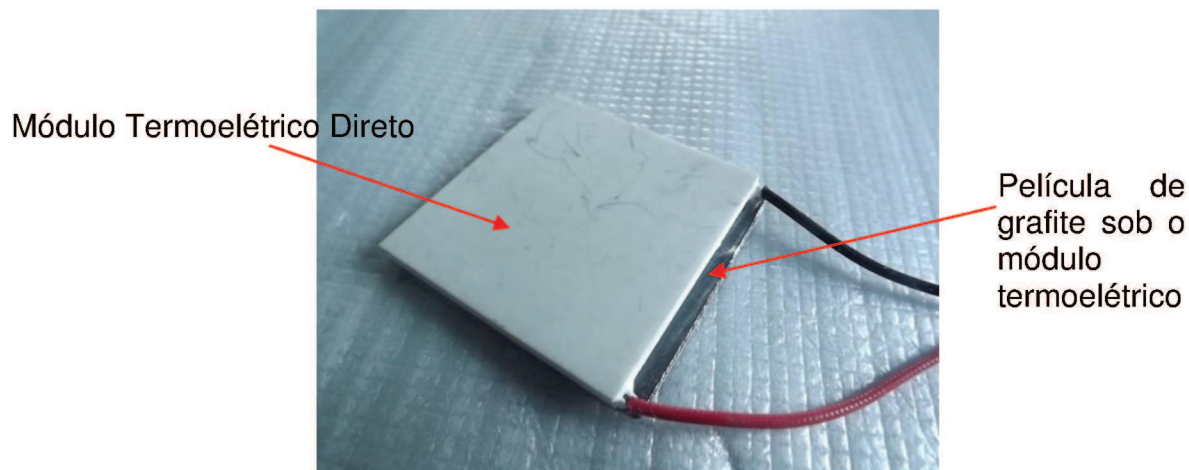


Figura 4.5 – Película de grafite sob o módulo
Fonte: Autor

Outro recurso importante e necessário é o uso da manta isoladora que deve ser utilizada entre a superfície geradora de calor e o dissipador. Sua finalidade é isolar o dissipador da fonte geradora de calor, fazendo com que toda a energia térmica gerada pelo protetor de chamas seja transferida para a superfície do módulo termoelétrico (lado quente) e não para o dissipador (SENOIDAL, 2013).

A Figura 4.6 ilustra a forma como deve ser montada a manta isoladora junto ao módulo termoelétrico e a Figura 4.7 ilustra a manta isoladora em detalhe.

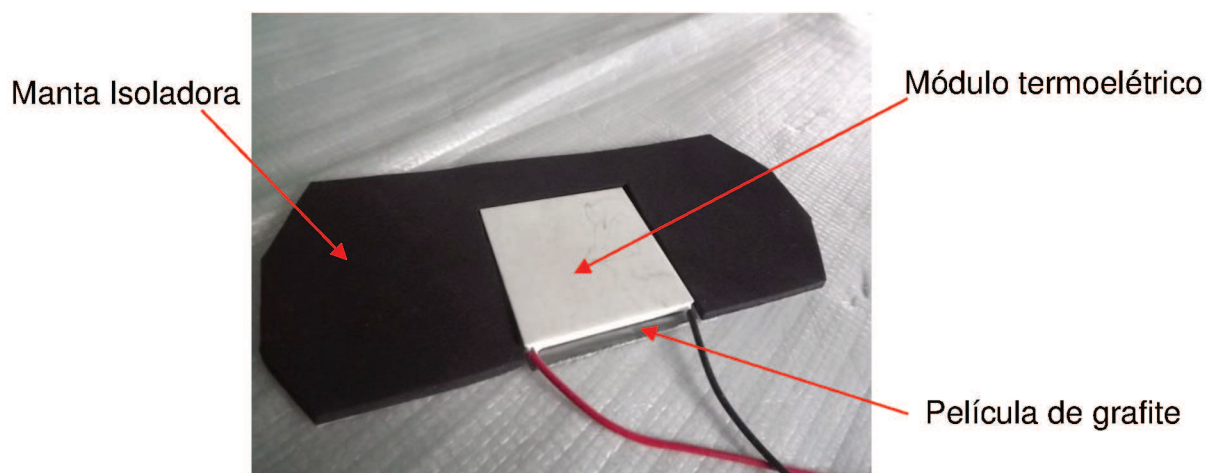


Figura 4.6 – Película de grafite, módulo e manta isoladora
Fonte: Autor

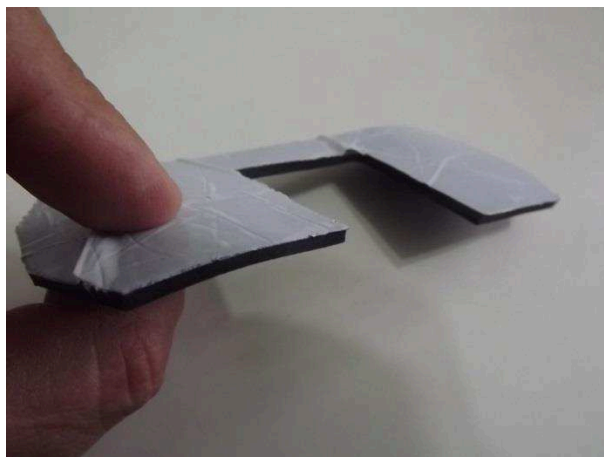


Figura 4.7 – Manta isoladora em detalhe
Fonte: Autor

Um dissipador de calor deve ser fixado no lado frio do módulo termoelétrico, no sentido de proporcionar a maior oposição possível em termos de temperatura entre as faces do módulo termoelétrico (SENOIDAL, 2013).

A Figura 4.8 ilustra o conjunto composto pela película de grafite, módulo termoelétrico, manta dissipadora e dissipador de calor.

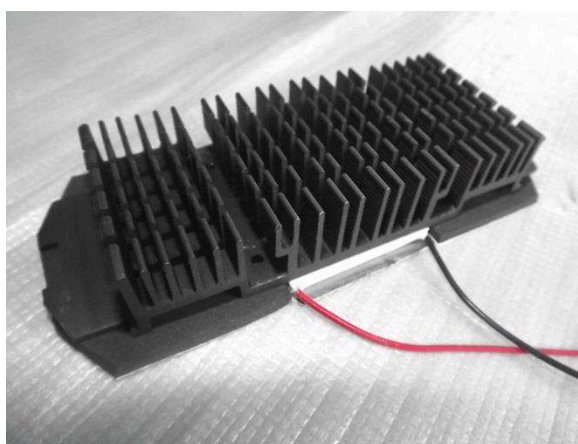


Figura 4.8 – Película de grafite, módulo, manta isoladora e dissipador
Fonte: Autor

O *cooler* é um dispositivo que auxilia o dissipador no sentido de manter a temperatura do lado frio do módulo, a mais fria possível, pois quanto maior a diferença de temperatura aplicada em suas faces (lado frio e lado quente), maior será a energia gerada. Dentro desse contexto, o *cooler* tem a finalidade de refrigerar e diminuir o máximo possível a temperatura do dissipador de calor, afinal, a

temperatura na face do módulo que não está voltada para o lado quente do sistema deve apresentar a maior temperatura inversa possível para melhorar o rendimento da geração de energia por parte do módulo, uma vez que o outro lado do módulo já está voltado para o lado quente.

A Figura 4.9 ilustra o conjunto completo que deve acompanhar cada módulo termoeétrico composto por película de grafite, módulo termoeétrico, manta isoladora, dissipador de calor e *cooler* (SENOIDAL, 2013).

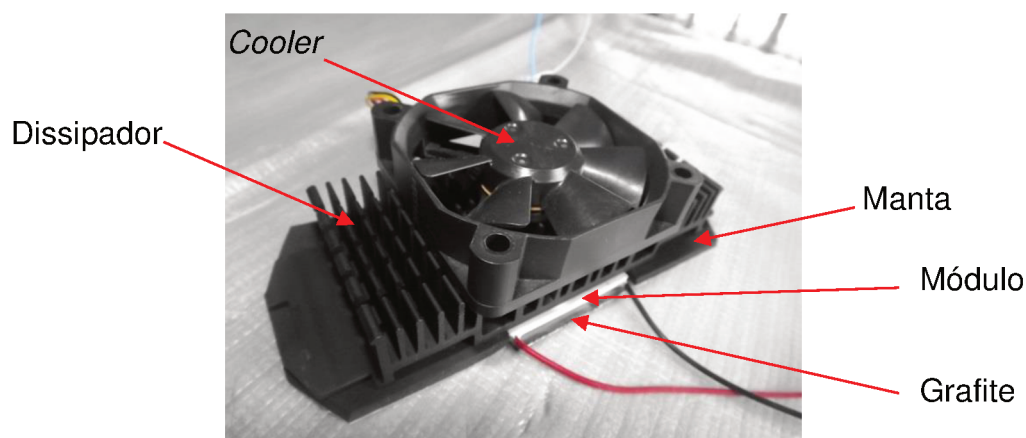


Figura 4.9 – Película de grafite, módulo, manta isoladora, dissipador e *Cooler*.
Fonte: Autor

A Figura 4.10 ilustra a vista lateral do conjunto completo que deve acompanhar cada módulo termoeétrico composto por película de grafite, módulo termoeétrico, manta isoladora, dissipador de calor e *cooler*.

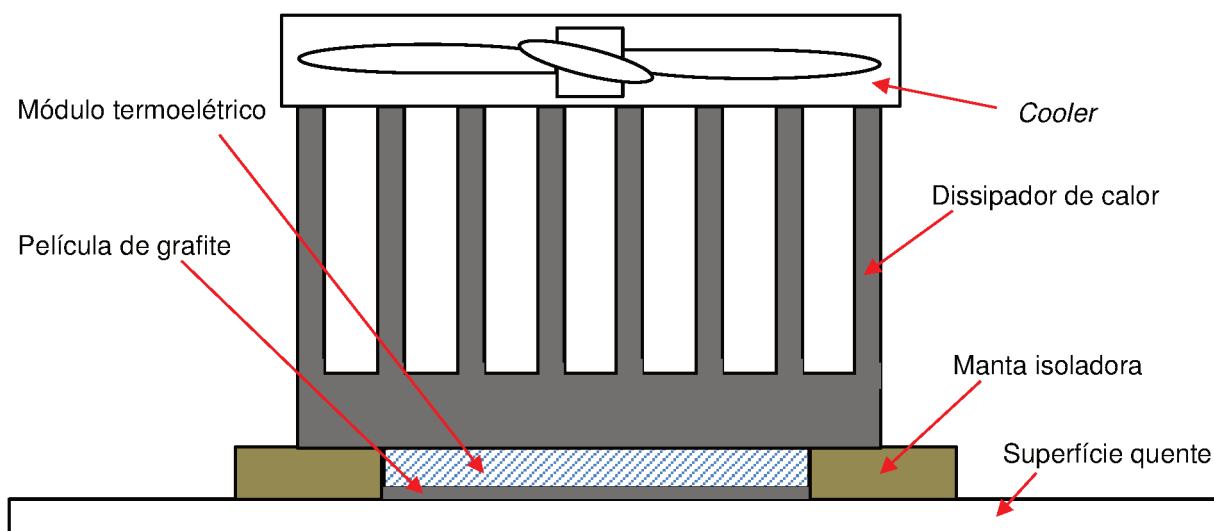


Figura 4.10 – Vista lateral da montagem completa do módulo termoeétrico
Fonte: Autor

Apesar de todos os cuidados em incorporar acessórios ao módulo termoelétrico, os resultados em termos de eficiência ainda são baixos, cerca de 4% (SENOIDAL, 2014).

Para descrever o funcionamento de módulos termoelétricos pode-se compará-los com os termopares. Os termopares são dispositivos que geram uma diferença de potencial (DDP) a partir das duas junções de metais diferentes, que se encontra em diferentes temperaturas e são utilizados para indicar e controlar a temperatura em muitos processos industriais.

Um dispositivo termoelétrico tipicamente compreende duas placas cerâmicas, que servem como uma moldura para preservar a integridade mecânica do módulo. Os dispositivos geralmente contêm de 3 a 127 termopares (CAMARGO, *et al*, 2013).

Neste estudo, apesar da associação das tecnologias, não se trata de um sistema híbrido. O sistema fotovoltaico é o principal gerador de energia e o sistema termoelétrico direto funciona apenas como um sistema auxiliar, fornecendo energia nos momentos em que o sistema fotovoltaico gere pouca ou nenhuma energia.

Os resultados dos ensaios realizados mostraram que o painel fotovoltaico utilizado nos experimentos atende satisfatoriamente a demanda de energia solicitada pelo circuito eletroeletrônico do queimador de biogás, os resultados mostraram também que o sistema termoelétrico direto fornece energia em quantidades desprezíveis.

A área de fixação dos módulos termoelétricos no protetor de chamas do queimador de biogás é bastante reduzida, o que limita também o número de módulos associados para a geração. Para obter níveis de tensões e correntes em níveis satisfatórios, deve-se instalar um número bastante expressivo de módulos associados, e o espaço disponível no protetor de chamas é insuficiente para alocar todos os módulos e seus acessórios necessários (película, manta, dissipador, etc), tornando-o inviável para essa aplicação. Isso sem falar no tempo de exposição à chama que é bastante reduzido, não proporcionando o aquecimento necessário e conseqüentemente, o gradiente de temperatura (ΔT).

Dentro desse contexto, os estudos para o desenvolvimento de um sistema de geração para o queimador de biogás, visaram somente o sistema solar fotovoltaico, deixando os módulos termoelétricos para estudos futuros.

5.0 QUEIMADOR DE BIOGÁS

O queimador de biogás foi desenvolvido por Marcelino & Godoy Júnior (2011). O projeto teve como objetivo, somente o saneamento do biogás e não a geração de energia. É um projeto destinado à miniestações de tratamento de efluentes com baixa e inconstante vazão de biogás, inviável para o aproveitamento energético. O queimador de biogás é instalado em gasômetros que fazem a captação do biogás e armazenam por um período de tempo, até que o recipiente encha e acione o sensor que através do circuito eletroeletrônico provoca a ignição do biogás.

A Figura 5.1 ilustra o queimador de biogás com circuito eletrônico de controle (Marcelino e Godoy Junior, 2011), nas condições de recipiente vazio (sem queima do biogás) e recipiente cheio (com queima de biogás).

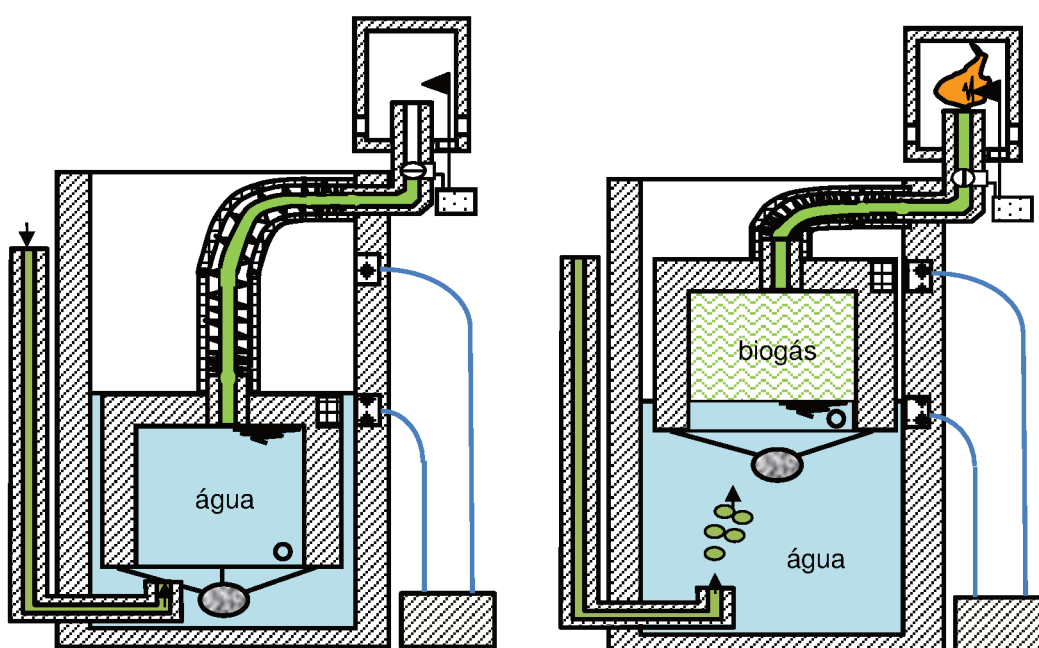


Figura 5.1: Projeto original do queimador de biogás (Marcelino e Godoy Junior, 2011)

A Figura 5.2 ilustra o queimador de biogás com circuito eletrônico de controle e com chama acesa, indicando a condição de acumulador cheio no momento da queima do biogás, indicando também todos os componentes do sistema. A Tabela 5.1 indica cada um dos componentes apontados na Figura 5.2 e que compõem o queimador de biogás.

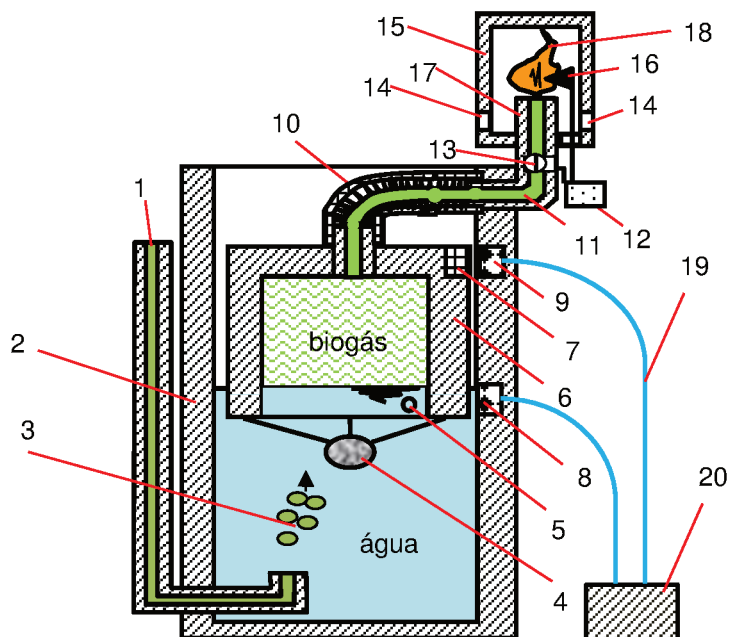


Figura 5.2: Componentes do queimador de biogás (Marcelino & Godoy Junior, 2011)

Tabela 5.1 - Componentes do Sistema Queimador de Biogás (antes das evoluções)

Componente	DESCRIÇÃO
1	Tubulação de entrada do biogás
2	Parte inferior do queimador de biogás (copo externo)
3	Bolhas de Biogás
4	Lastro de chumbo que mantém a campânula na posição vertical
5	Furo limita a elevação da campânula até o nível do efluente
6	Campânula (copo interno, invertido)
7	Ímã permanente para acionamento do sensor magnético
8	Sensor magnético inferior (acumulador do gasômetro vazio)
9	Sensor magnético superior (acumulador do gasômetro cheio)
10	Tubo flexível para saída do biogás
11	Tubo rígido de saída do biogás
12	Ignitor
13	Válvula eletromecânica
14	Orifícios para a entrada de ar (comburente) na mistura combustível
15	Protetor de chamas
16	Eletrodo do circuito gerador de centelha
17	Bico queimador
18	Chama do biogás queimando
19	Fios condutores
20	Circuito eletrônico de controle

Nas ETE's, com baixa e inconstante vazão de biogás, o aproveitamento energético do biogás é inviável, sendo assim, é muito importante trabalhar a questão do saneamento do biogás, buscando diminuir ao máximo os efeitos negativos causados pelos gases do efeito estufa (GEE).

O projeto também visa a integração de todo o controle eletroeletrônico do gasômetro e a viabilidade de fabricação do gasômetro em larga escala, utilizando componentes mecânicos e peças em termoplásticos rotomoldados, injetados, extrudados, e com ligas metálicas resistentes à corrosão causada pelo gás sulfídrico, que também está presente no biogás (Marcelino e Godoy Junior, 2011).

A queima do gás metano (CH_4) presente no biogás, pode reduzir os impactos dos efeitos que esse gás provoca no meio ambiente, pois, com a queima do gás metano, se produz dióxido de carbono (CO_2) que, apesar de contribuir negativamente para o meio ambiente, ainda assim é muito vantajoso já que é 21 vezes menos agressivo que o gás metano (CETESB, 2014).

O gasômetro com queimador de biogás possui formato telescópico que funciona como se fossem dois copos invertidos e com diâmetros ligeiramente diferentes para que seja possível o encaixe de um copo dentro do outro. O copo de diâmetro menor, chamado de campânula, é encaixado com a boca para baixo, dentro do copo de diâmetro maior, de forma a proporcionar um acumulador interno onde é armazenado o biogás.

Quando o acumulador estiver cheio de biogás, através do sensor magnético (9), o circuito eletrônico (20) identifica que o acumulador do gasômetro está cheio e aciona a abertura da válvula eletromecânica (13) para liberar o biogás e, também, aciona o circuito de interface de ignição (12) para que seja provocada a queima do biogás (18).

O circuito eletrônico de controle é montado em uma única placa de circuito impresso, alimentada pela tensão fornecida pela rede convencional de energia elétrica.

A Figura 5.3 ilustra o diagrama elétrico do circuito eletrônico de controle do queimador de biogás (Marcelino e Godoy Junior, 2011).

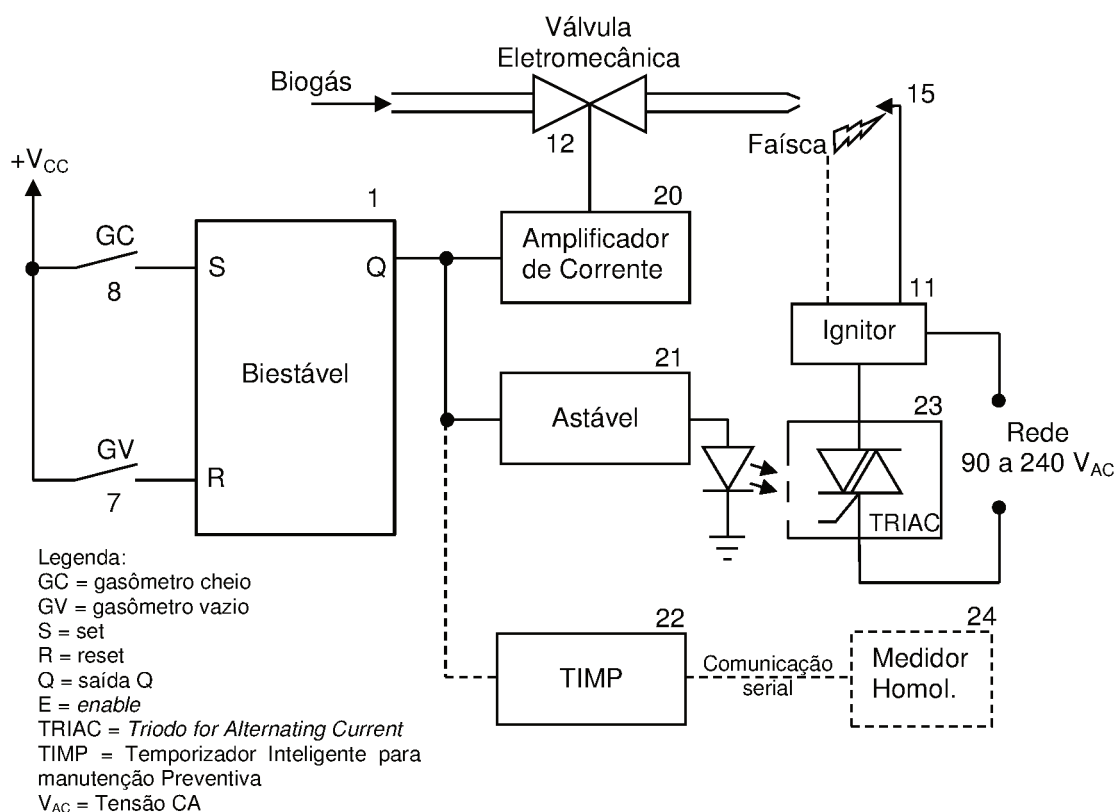


Figura 5.3: Diagrama elétrico do circuito de controle (Marcelino e Godoy Júnior, 2011)

Segundo ALMEIDA, *et al* (2013), além das aplicações em miniestações de tratamento de efluentes, o queimador de biogás pode ainda ser instalado em uma rede doméstica de tratamento de efluentes, em condomínios residenciais ou ainda em condomínios industriais.

A instalação desse dispositivo em locais com uma maior concentração de pontos de coletas pode proporcionar um aumento no desempenho do sistema em termos de queima de biogás e obtenção de créditos de carbono (Godoy Júnior., *et al*, 2012).

A Figura 5.4 ilustra uma aplicação doméstica e isolada, que pode ser adaptada e/ou modificada para uma condição coletiva.

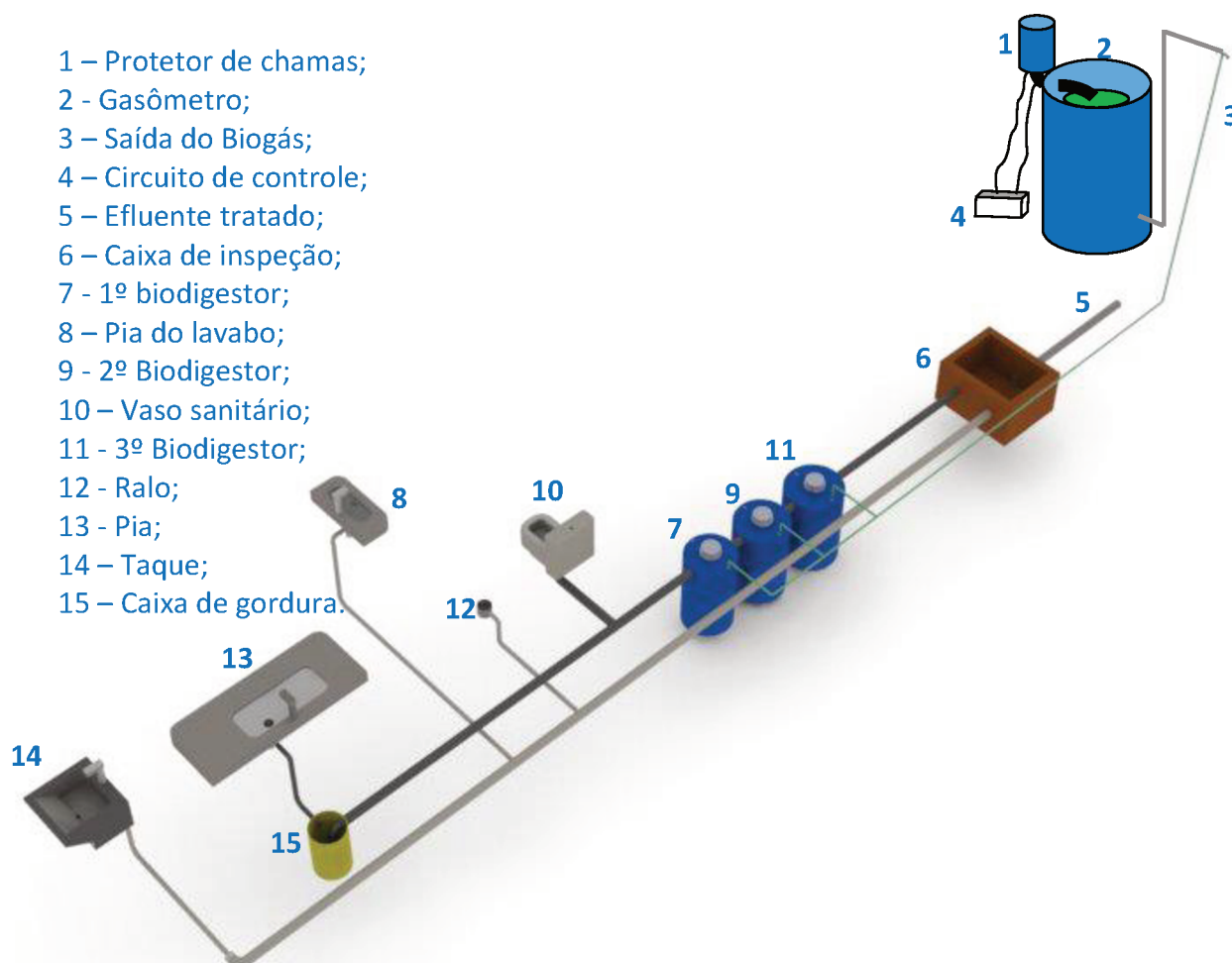


Figura 5.4: Instalação do queimador de biogás em uma rede doméstica
 Fonte: Marcelino e Godoy Junior, 2011.

5.1 EVOLUÇÕES DO PROJETO DO QUEIMADOR DE BIOGÁS

O projeto original (Marcelino e Godoy Junior, 2011) evoluiu nos anos seguintes. Simões (2012), desenvolveu um novo circuito eletrônico à base de microcontrolador que substitui o circuito biestável, o circuito astável e ainda inclui as funções de controle de armazenamento, queima e contabilização do volume de biogás queimado, permitindo a busca de créditos de carbono. A Figura 5.5 ilustra o diagrama elétrico do circuito de controle do queimador de biogás, após a evolução feita por Simões (2012).

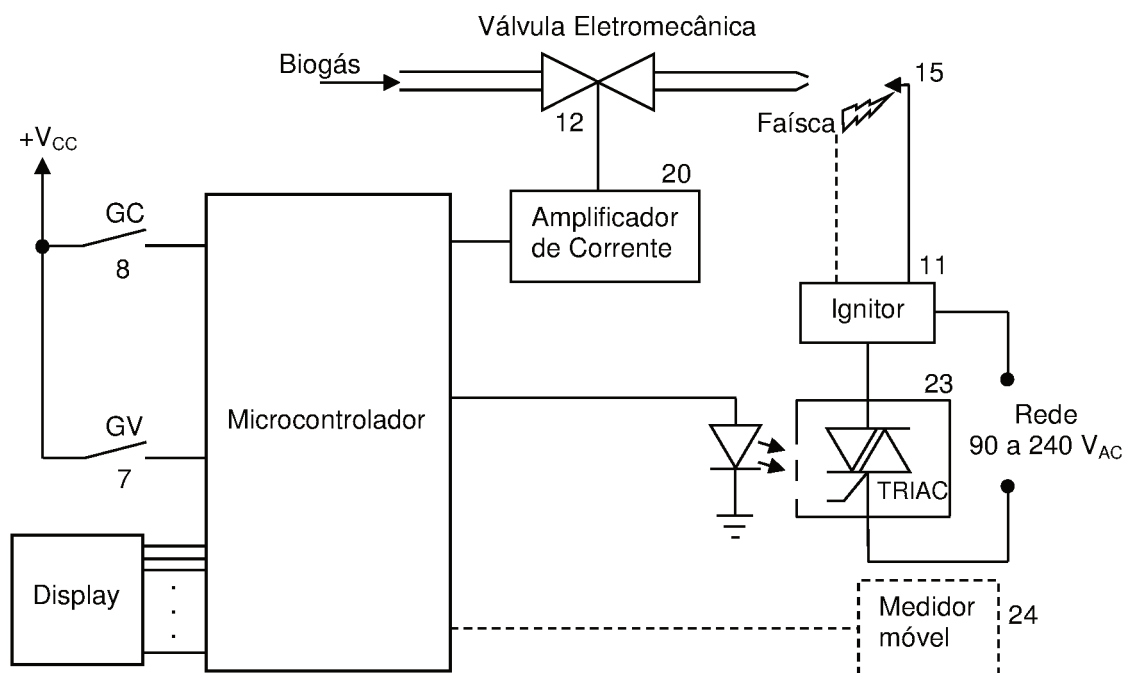


Figura 5.5: Diagrama elétrico do circuito de controle

Fonte: Simões, 2012

Simões (2012) evoluiu o projeto original com o uso de apenas um microcontrolador, que possui memória interna apenas de leitura, programável e apagável eletricamente (EEPROM), que mantém a informação, mesmo durante a ausência de energia elétrica.

O trabalho de evolução apresentado por Lima (2012), inclui um sensor de detecção de volume do acumulador de biogás do gasômetro onde é fixado o queimador de biogás. O gasômetro é construído mecanicamente, de forma a proporcionar uma polarização, que garanta que o ímã não saia do alcance do eixo do sensor, pois, a campânula móvel do gasômetro é responsável por manter o ímã em uma posição fixa. O sensor é baseado em um circuito ressonante série, operando em uma frequência que é fornecida por um multivibrador astável com um temporizador 555. O projeto foi desenvolvido visando um sensor com comutação eletrônica através de transístor, evitando assim o uso dos tradicionais *reed switch*, aumentando assim a confiabilidade do sistema, uma vez que o sensor não sofre desgastes mecânicos. O sensor é responsável por enviar sinais de gasômetro cheio para o acionamento do sistema de válvula eletromecânica que libera o biogás e do sistema de ignição que gera a faísca para a queima. A Figura 5.6, ilustra o circuito eletrônico do sensor de detecção desenvolvido por Lima (2012).

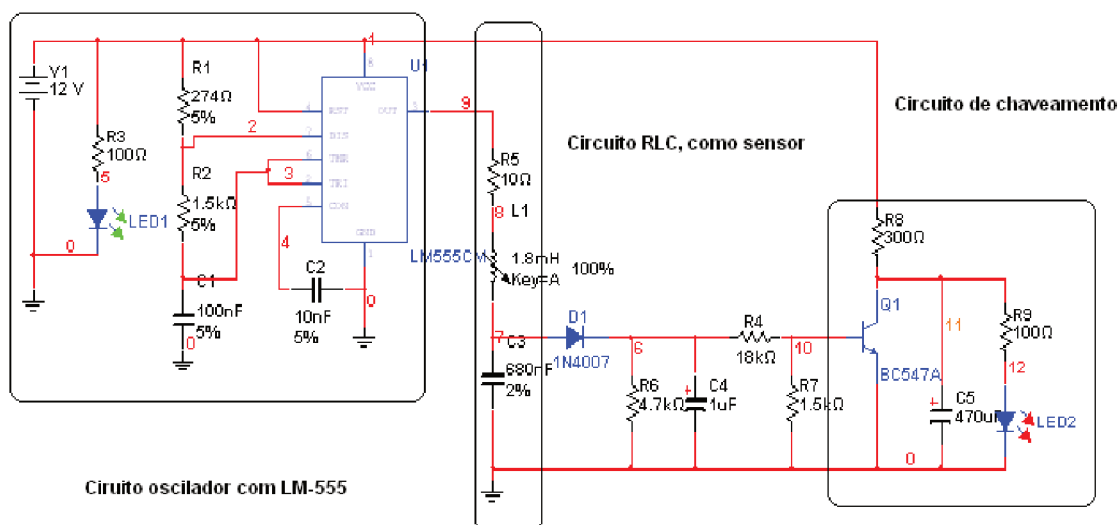


Figura 5.6: Circuito do sensor de detecção de gasômetro cheio
Fonte: LIMA, (2012)

Santos (2012) apresentou estudos e mudanças significativas no projeto do queimador de biogás, implantando TRIAC's optoacopladores da família MOC3021 para acionamento da válvula de abertura e fechamento do biogás no circuito eletrônico de ignição. A Figura 5.7 ilustra o circuito que monitora e controla os acionamentos da válvula e também do circuito de ignição.

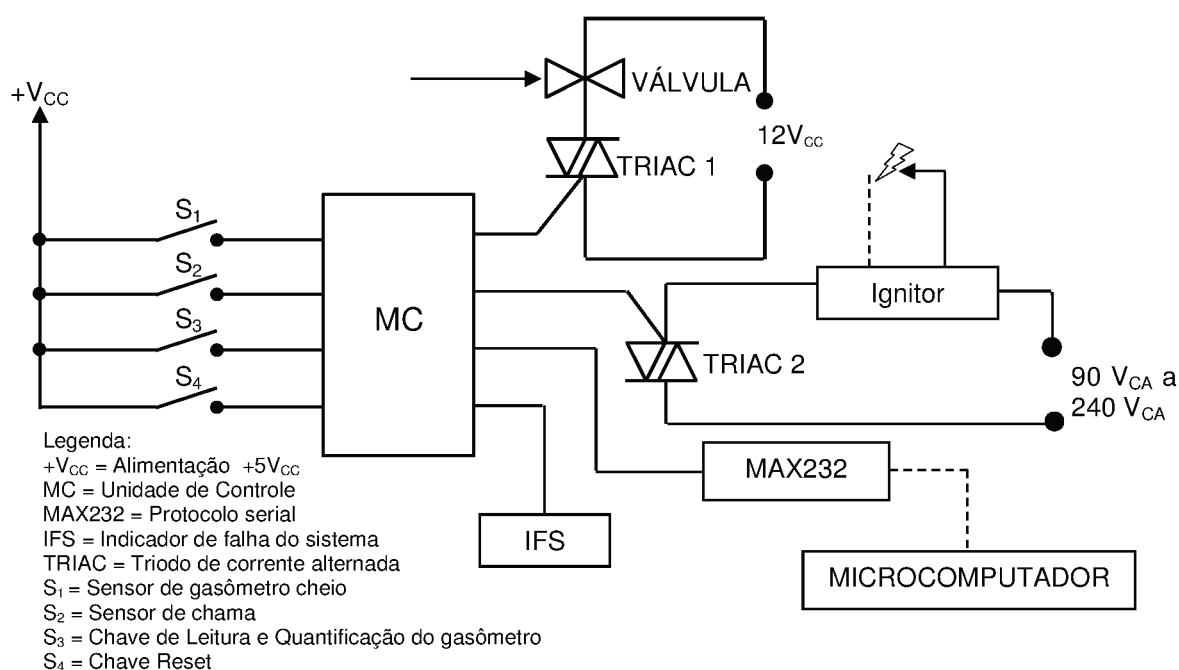


Figura 5.7: Diagrama em blocos da unidade de controle do queimador de biogás.
Fonte: Santos, 2012

Santos (2012) também introduziu no circuito eletrônico do queimador de biogás um sensor detector de chamas que auxilia o sistema, sinalizando se a chama apagou durante o processo de queima e com isso iniciando uma nova sequência de acionamentos de ignição.

O sensor de temperatura NTC (Negative Temperature Coefficient) possui um coeficiente negativo de resistência com o aumento da temperatura, ou seja, a sua resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura. O componente envia um sinal de referência para a unidade de controle, informando a existência ou não, da chama durante o processo da queima do biogás acumulado. Durante o modo de queima, se não houver chama por um período prolongado, um sinal de falha é emitido pela unidade de controle. A unidade de controle envia uma nova sequência de disparos para o ignitor, interrompendo o contador e registrador de volume de biogás queimado, a fim de garantir a funcionalidade e integridade do sistema. A Figura 5.8 ilustra o circuito do sensor de detecção de chamas.

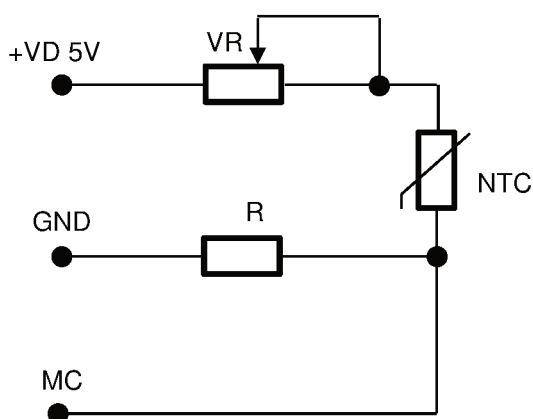


Figura 5.8: Detector de chama
Fonte: Santos, 2012.

Em todo sistema de queima, manter a chama é tarefa com relativa dificuldade custo e confiabilidade, pois, para que uma mistura de biogás/oxigênio atinja o ponto de fulgor, é necessária uma temperatura mínima suficiente para o enriquecimento da mistura. Para isso existem 3 formas práticas de se conseguir essa fonte de calor: por chama piloto; por filamento incandescente ou por faísca (MARCELINO, *et al*, 2011).

A Figura 5.9 ilustra o circuito de ignição da empresa Brascabos Componentes Elétricos e Eletrônicos Ltda. O circuito foi desenvolvido por MARCELINO (2011), já adaptado para um único bico para a aplicação no queimador de biogás, no qual um caminho alternativo é oferecido à faísca, através de um orientador construído com

um pedaço de condutor de cobre, representado na figura por um asterisco. Esse orientador de faísca fica entre os eletrodos, distanciado de duas vezes a distância nominal entre eles, porém localizado na carcaça do ignitor (8 mm). Dessa forma, quando existir qualquer impedimento para a faísca romper o ar, nas extremidades dos eletrodos, ela encontrará um caminho alternativo, externamente ao ignitor, protegendo assim os componentes internos do mesmo.

A Figura 5.9 também ilustra a evolução do circuito de ignição descrito, onde é possível observar a inclusão de um MOC3021 (OPTOISOLATORS TRIAC), que permite que o ignitor possa ser controlado diretamente pelo microcontrolador através de sinais digitais (Santos, 2012).

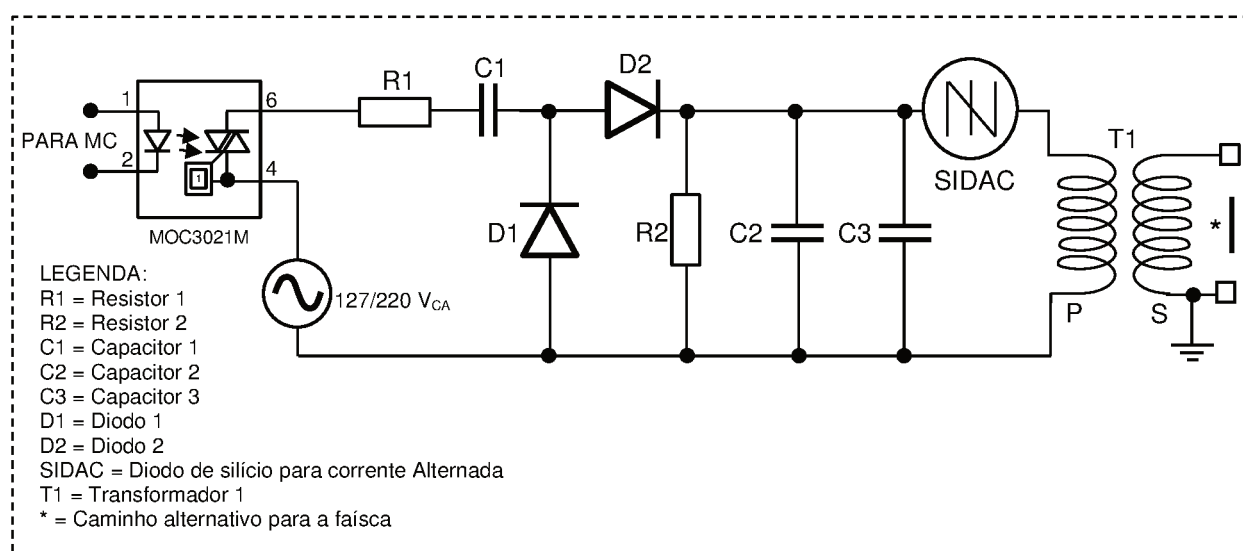


Figura 5.9: Circuito ignitor
 Fonte: Santos, 2012

Ainda dentro desse projeto, Santos (2012) introduziu uma interface RS232 que tem como objetivo proporcionar o monitoramento das informações do sistema à distância, permitindo o acompanhamento da queima do biogás e dos créditos de carbono obtidos. O firmware do microcontrolador precisou ser alterado para que fosse possível incluir toda a programação das rotinas de controle sistêmico do gasômetro, conforme fluxograma do firmware gravado no PIC ilustrado na Figura 5.10. O Protocolo RS-232 é um padrão de comunicação serial criado pela EIA (Electronic Industries Association) para a comunicação entre um DTE (terminal de dados) e um DCE (comunicador de dados), também conhecida como EIA-232. Normalmente o pacote enviado é constituído de 10 ou 11 bits dos quais 8 bits

constituem as mensagens, 1 bit (*Start bit*), 1/1. 5/2 bit (s) de parada (*Stop bit*) e, 1 (um) bit de paridade (*parity bit*) para o controle de erro.

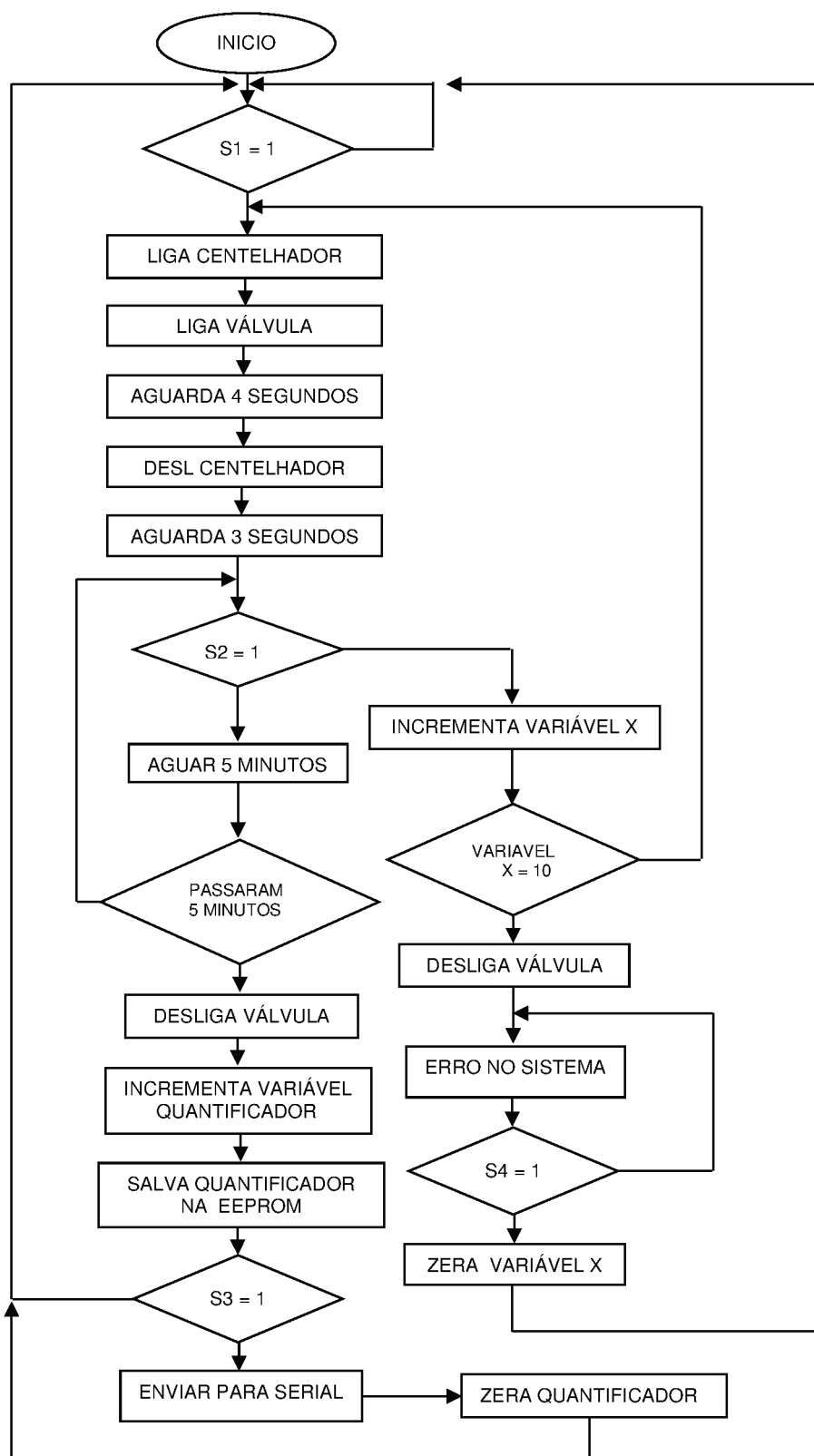


Figura 5.10: Fluxograma do firmware gravado no PIC
Fonte: Santos, 2012.

O projeto de Carvalho (2013) evoluiu o sistema de sensores de acionamentos para gasômetro cheio, através do uso de Sensor Hall AD1301 que é um dispositivo eletrônico desenvolvido especialmente para a detecção de materiais ferromagnéticos. Com a mudança, o gasômetro passou a operar somente com o sensor de gasômetro cheio, eliminando o sensor de gasômetro vazio que existia no projeto anterior. O estudo prevê o uso de sensoriamento controlado pelo programa do microcontrolador da unidade de controle que monitora e quantifica o cilindro de biogás. O circuito eletrônico detecta a proximidade do ímã que foi constituído com uma polarização mecânica para não escapar do eixo de alcance do sensor. A Figura 5.11 ilustra o circuito elétrico do Sensor Hall, utilizado para simulações através do software *multisim*.

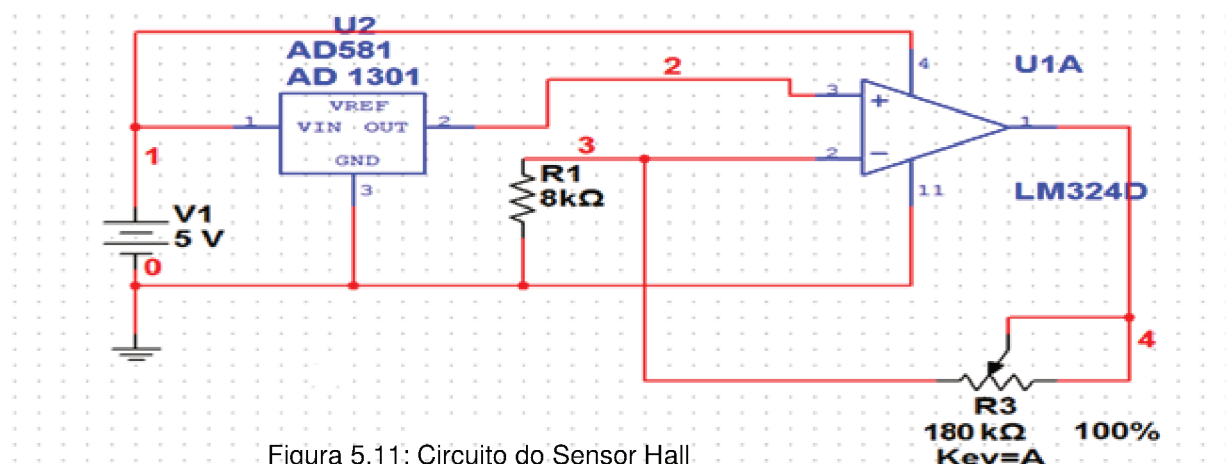


Figura 5.11: Circuito do Sensor Hall.
Fonte: Carvalho, 2013.

Segundo Carvalho (2013), o sensor hall envia o sinal para o microcontrolador do sistema, que contabiliza o número de vezes que o gasômetro encheu de biogás e foi esvaziado, com a respectiva queima. O sistema garante a contagem do volume mínimo queimado, uma vez que durante a queima, pode estar entrando biogás no gasômetro, já que a totalização do volume de biogás queimado será feita pela lógica do conjunto de chave S1 (sensor de gasômetro cheio) e S2 (sensor de chama acesa). Quando S1 se encontra em nível lógico 0, indica que o gasômetro está vazio, ou está enchendo. Quando o gasômetro chega ao nível máximo (cheio), S1 vai para nível lógico 1, informando que o microcontrolador vai abrir a válvula e em seguida ligar o circuito gerador de centelha para a queima do biogás. O centelhador permanece 1 segundo ligado e 4 segundos desligado, esta sequência se repete por

cinco vezes, garantindo um tempo de aproximadamente 25 segundos para S2 (sensor de chama) detectar a temperatura da chama, através do sensor NTC (coeficiente negativo de temperatura) e, enviando para o microcontrolador nível lógico 1 (um) para o desligamento do centelhador.

O módulo de controle opera somente com um sensor de nível de gasômetro cheio. Com uma constante de tempo programada através de software com aproximadamente 5 minutos (podendo ser alterado no software para mais ou para menos, dependendo do tamanho e vazão do gasômetro) para o esvaziamento do gasômetro, que, com a vazão de biogás constante, permite mais precisão na quantificação do volume de biogás queimado. Como a válvula encontra-se aberta já que S1 informou anteriormente para o microcontrolador que o gasômetro atingiu seu nível máximo, S2 (sensor de chama) permanece em nível lógico 1 (um) indicando que a chama se encontra acesa. O módulo de controle aguarda o tempo de 5 minutos para fechar a válvula e, não havendo mais a chama, S2 voltará dentro de alguns segundos seu nível lógico 0 (zero). Se por um motivo qualquer a chama apagar antes dos 5 minutos programado, o centelhador é ligado novamente e o microcontrolador fará 10 (dez) tentativas de ligamento da chama, caso a chama seja ativada, o microcontrolador guardará o tempo restante que foi programado e assim, fechará a válvula, quantizando o volume queimado e o processo reiniciará novamente o enchimento do gasômetro. Caso ocorra as 10 (dez) tentativas de reacender e a chama não for bem sucedida, o indicador de falhas do sistema (IFS) através de um LED vermelho pulsará em uma frequência de 2 Hz indicando que houve falhas no sistema. Nesse caso o sistema ficará aguardando o acionamento da chave S4 (reset) para voltar ao seu estado normal.

Para que se possa ler o volume queimado de gás na unidade de controle, uma comunicação serial com protocolo RS232 foi utilizada entre a unidade de controle e o microcomputador externo.

A unidade de controle disponibiliza uma chave de leitura (S3), específica para a leitura de volume de biogás queimado do gasômetro. Quando acionada, a comunicação serial é enviada para o microcomputador externo e o volume contabilizado é zerado na EEPROM da unidade de controle, caso a comunicação com o microcomputador seja realizada sem falhas. Um LED indicador pulsará toda vez que S3 (chave de leitura) for acionada.

6 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Inicialmente, o projeto do sistema de geração de energia, objeto deste estudo, propôs a associação das tecnologias fotovoltaica e termoelétrica direta, para fornecer energia aos circuitos do queimador de biogás, tornando-o autossuficiente e viabilizando a sua instalação em locais distantes e não atendidos pelos sistemas convencionais de distribuição de energia. Apesar da associação das duas tecnologias de geração, não se trata de um sistema híbrido de geração. O sistema fotovoltaico é o principal gerador, contribuindo com quase a totalidade da energia gerada. Os módulos termoelétricos possuem um papel secundário, funcionando como um sistema auxiliar, fornecendo energia nos momentos em que o sistema fotovoltaico gere pouca ou nenhuma energia.

No decorrer dos estudos, em função dos resultados obtidos, foi suprimido o uso dos módulos termoelétricos diretos no projeto. O sistema termoelétrico direto não possui uma literatura pertinente, é uma tecnologia ainda em estudo e evolução em todo mundo (SENOIDAL, 2014). Todos os ensaios e pesquisas foram feitos com base em catálogos técnicos e consultas a empresas do setor.

Durante os ensaios, os módulos termoelétricos geraram energia em números desprezíveis. É um sistema que ainda apresenta baixa eficiência e não pode ser considerado como matriz energética principal para a aplicação proposta neste estudo. A Figura 6.1 ilustra a área de fixação dos módulos termoelétricos, uma área bastante reduzida na parte superior do protetor de chamas, isso acabou limitando o número de módulos na associação.

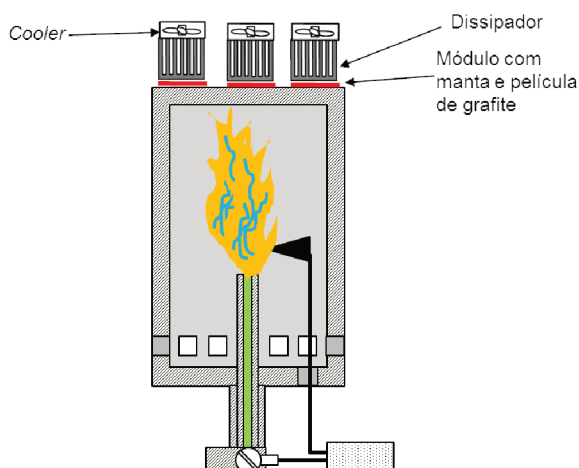


Figura 6.1: Montagem dos módulos no protetor de chamas
Fonte: Autor

Outro fator que contribuiu negativamente para os resultados foi o tempo de duração das chamas. Muito rápido, não permitindo aquecer totalmente o protetor de chamas e por consequência os módulos. Os estudos para o desenvolvimento do sistema de geração, a partir dessas constatações, visaram somente o sistema solar fotovoltaico, deixando os módulos termoelétricos para estudos futuros.

A proposta deste estudo, a partir desse ponto, visa somente o uso do sistema solar fotovoltaico, utilizando a montagem básica descrita anteriormente na Figura 2.10.

A Figura 6.2 ilustra o queimador de biogás instalado em um gasômetro, com as indicações de todos os seus componentes na condição de acumulador cheio de biogás e com a chama acesa. Na Tabela 6.1 estão descritos todos os componentes ilustrados na Figura 6.3 já com as evoluções elétricas e mecânicas do circuito queimador de biogás e do gasômetro, respectivamente.

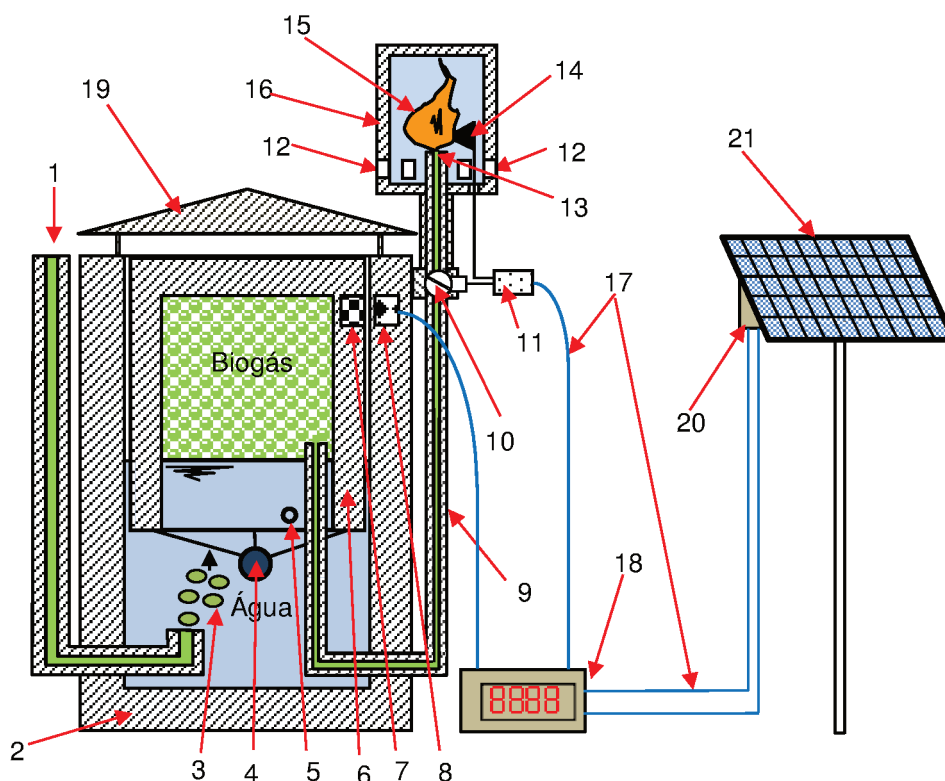


Figura 6.2: Componentes do sistema queimador de biogás (após evolução)

Tabela 6.1 - Componentes do Sistema do Queimador de Biogás (após as evoluções)

Componente	DESCRIÇÃO
1	Tubulação de entrada do biogás
2	Parte inferior do queimador de biogás (copo externo)
3	Bolhas de biogás
4	Lastro de chumbo que mantém a campânula na posição vertical
5	Furo limita a elevação da campânula até o nível da água
6	Campânula (copo interno, invertido)
7	Ímã permanente para acionamento do sensor magnético
8	Sensor hall
9	Tubulação de saída do biogás
10	Válvula eletromecânica
11	Ignitor
12	Orifícios para a entrada de ar (comburente) na mistura combustível
13	Bico queimador
14	Eletrodo do circuito gerador de centelha
15	Chama do biogás queimando
16	Protetor de chamas
17	Condutores elétricos
18	Circuito eletrônico de controle e registro de biogás queimado
19	Cobertura do gasômetro para proteção contra chuva
20	Controlador de Carga fixado sob o painel fotovoltaico
21	Painel Solar Fotovoltaico

A Figura 6.3 ilustra o diagrama completo dos circuitos eletroeletrônicos do queimador de biogás, após as evoluções do sistema.

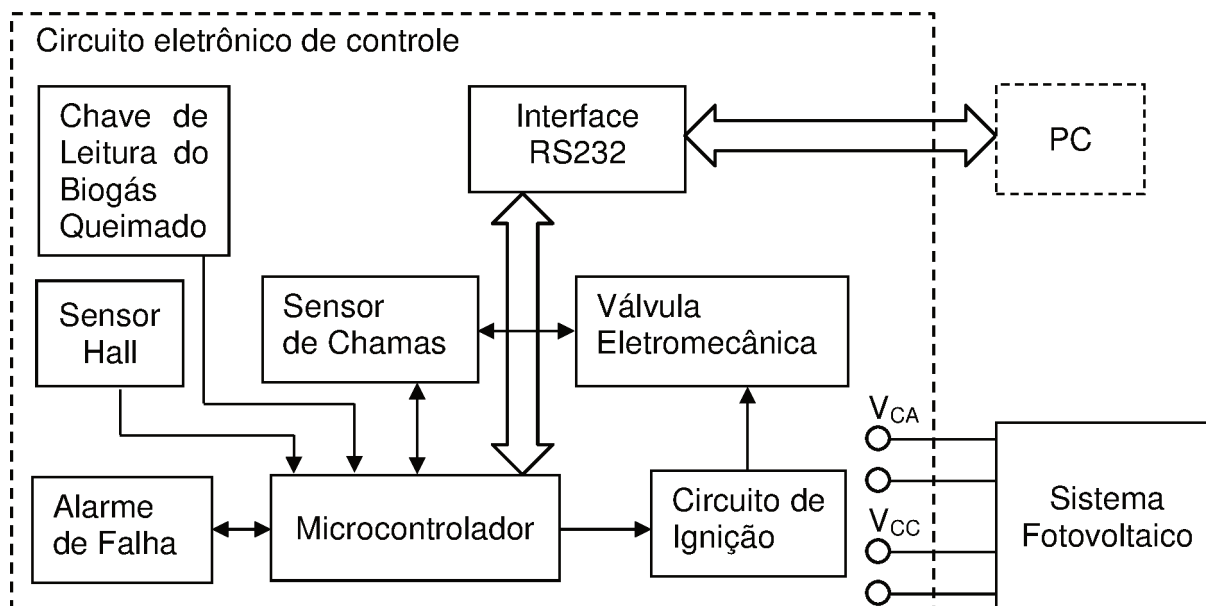


Figura 6.3: Diagrama em blocos do circuito eletroeletrônico do queimador de biogás
Fonte: Autor

- Sistema Fotovoltaico: Gera energia para o circuito do queimador de biogás;
 - Microcontrolador: Controla a liberação do biogás, ignição, sensores, alarmes, comunicação externa através de um PC e quantificação do biogás queimado;
 - Sensor de chamas: Informa a condição da chama (acesa ou apagada) para que através de uma programação pré-definida, seja feita uma nova tentativa de ignição ou simplesmente o término do evento;
 - Sensor Hall: Identifica a condição de cilindro cheio e envia sinais para o micro controlador liberar o gás e conseqüentemente a queima do biogás;
 - Alarme de falha: Indica falha na tentativa de reascender a chama do queimador;
 - Chave de Leitura do Biogás Queimado: Identifica quantas vezes o cilindro do gasômetro encheu e envia sinais para o micro controlador registrar a quantidade de biogás queimado;
- Interface RS232: Circuito que através de uma porta serial, faz a comunicação entre o queimador de biogás e um PC para que seja possível a monitoração a distância;
- Válvula Eletromecânica: Responsável pela abertura ou fechamento do biogás;
 - Circuito de Ignição: Circuito que provoca a ignição do biogás, quando liberado pela chave eletromecânica.

O diagrama do circuito eletroeletrônico do queimador de biogás, no Apêndice, ilustra com maiores detalhes os componentes do circuito.

7.0 IMPLEMENTAÇÕES E RESULTADOS

Além do sistema de geração de energia do queimador de biogás, proposto neste projeto, foram feitas modificações mecânicas no projeto original do gasômetro (Marcelino e Godoy Junior, 2011).

As modificações mecânicas foram feitas através da colocação de cobertura de proteção contra chuva sobre o gasômetro. Mudança que teve como objetivo impossibilitar a formação de crostas na estrutura mecânica do gasômetro, através de partículas trazidas pelas chuvas, o que poderia comprometer ao longo do tempo os movimentos da campânula, resultando, conseqüentemente, em manutenções preventivas com intervalos menores de tempo.

Outro ponto alterado da estrutura mecânica foi a substituição do tubo flexível para saída do biogás por um tubo rígido fixado na base do gasômetro. A alteração teve como proposta uma maior vida útil do tubo de saída do biogás e uma redução significativa nas manutenções do dispositivo, uma vez que a mudança elimina os excessivos movimentos para cima e para baixo do tubo flexível existente no projeto original.

A Figura 7.1 ilustra o gasômetro já com as modificações mecânicas e também o queimador de biogás que é o objeto desse estudo.

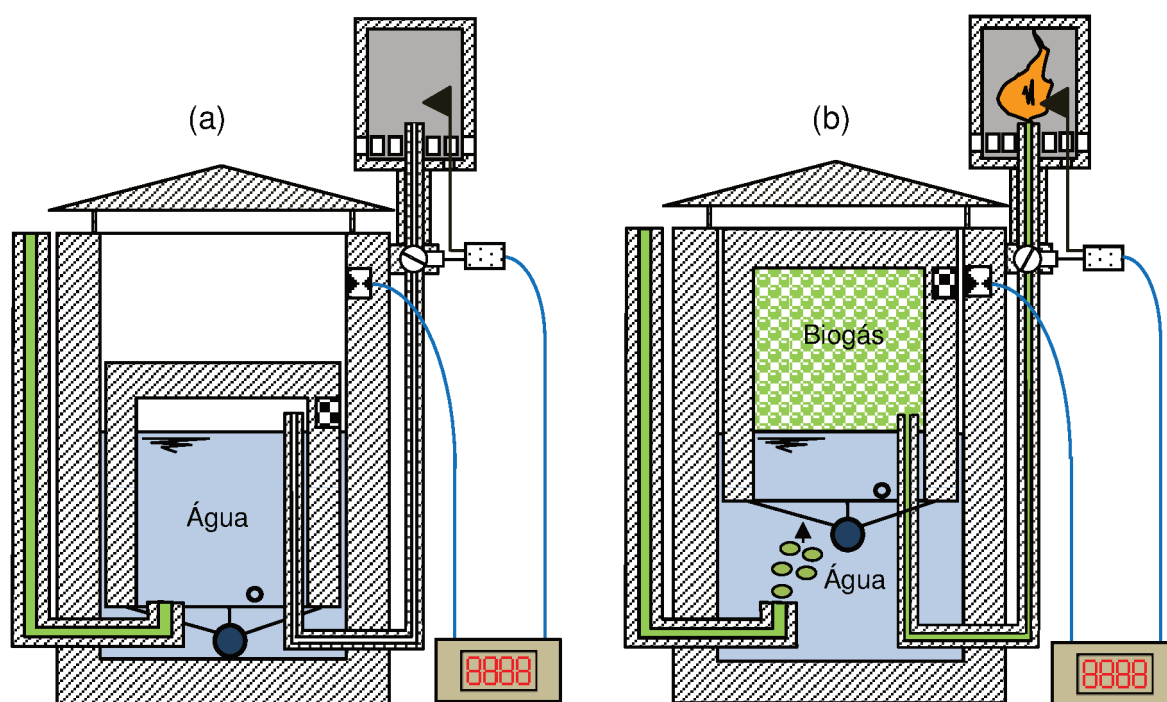


Figura 7.1: Gasômetro vazio (a) e gasômetro cheio (b)
Fonte: Autor

Conforme descrito anteriormente, os módulos termoelétricos foram suprimidos desse projeto por produzirem energia em números desprezíveis, principalmente quando comparados ao sistema fotovoltaico. Durante os ensaios, utilizando todos os acessórios sugeridos pelo fabricante, com duração das chamas em torno de 5 minutos, obteve-se tensões em torno de 3,8 V para módulos que, segundo o fabricante, deveria atingir 4,5 V de geração. A quantidade de chamas gerada foi insuficiente e o tempo muito curto para produzir uma temperatura ideal na superfície do protetor de chamas. Também não havia espaço no protetor de chamas para ampliar o número de módulos, através de associações, o que poderia proporcionar um aumento de tensão e corrente, dependendo da associação.

Com o objetivo de dimensionar o painel fotovoltaico e bateria, foram realizados estudos e medidas de consumo de energia do circuito eletroeletrônico do queimador de biogás, através de simulações de gasômetro cheio e gasômetro vazio.

Durante três dias em um período de 15 horas cada, foram simulados 25 queimas do biogás (acionamentos da válvula eletromecânica e da ignição), totalizando 75 simulações de queima, um número superior ao que aconteceria em uma condição real de instalação. Em condições reais de funcionamento, em função das dimensões do acumulador de biogás do gasômetro, as ignições acontecem a cada hora, portanto, dentro desse período aconteceriam 45 acionamentos.

O controlador de carga empregado no experimento (modelo Landstar) ilustrado na Figura 7.2, possui um circuito de monitoramento dos níveis de tensão da bateria, que indica através de LEDs, os níveis de tensão da bateria.



Figura 7.2: Controlador de carga Landstar com sistema de monitoramento
Fonte: Autor

A Figura 7.3 ilustra a parte frontal do controlador de carga que possui 6 LEDs de indicação, sendo um deles, indicação de processo de carga (*charging*) e os demais (LED 1 a LED 5) os níveis de tensão da bateria.

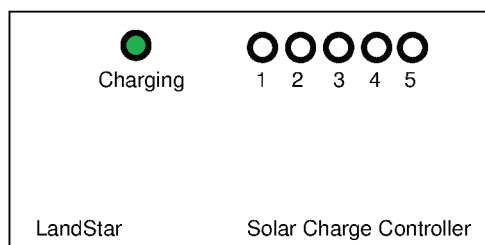


Figura 7.3 – Indicação dos LEDs no controlador de carga
Fonte: Autor

A Tabela 7.1, fornecida pelo fabricante do controlador de carga, indica os níveis de tensão da bateria. São níveis de tensão monitorados ao longo de todo o tempo de funcionamento de carregamento da bateria, onde através de sinalização via LEDs (ilustrados na Figura 7.3) é possível fazer o acompanhamento do nível de carga da bateria.

Tabela 7.1 – Indicação de carga da bateria

TENSÃO (V_{CC})	LED 1	LED2	LED 3	LED 4	LED 5
$\geq 13,2$	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE
$< 13,2$	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	OFF
$< 13,0$	VERDE	VERDE	VERDE	OFF	OFF
$< 12,6$	VERDE	VERDE	OFF	OFF	OFF
$< 12,3$	VERDE	OFF	OFF	OFF	OFF
$< 12,0$	LARANJA	OFF	OFF	OFF	OFF
$< 11,1$	VERMELHO	OFF	OFF	OFF	OFF

FONTE: Manual do fabricante (*Land Star*)

Durante o período de testes do sistema de geração de energia, foram feitas monitorações dos níveis de carregamento da bateria. As monitorações foram feitas através do controlador de carga e medidas de tensão nos terminais da bateria, comparando os resultados obtidos. As monitorações foram feitas durante três dias, das 7 h 00 min da manhã até as 10 h 30 min da manhã do dia seguinte (15 horas de funcionamento), comparando os resultados do monitoramento automático realizado

pele controlador de carga com os resultados medidos manualmente. A Tabela 7.2 aponta os resultados das 75 monitorações realizadas durante esse período.

Tabela 7.2 – Monitoramento da bateria nas simulações de queima do biogás

Horário	1º dia de monitoração		2º dia de monitoração		3º dia de monitoração	
	Manual	Automática	Manual	Automática	Manual	Automática
7 h 00 min	11,9 V	< 12,0 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
7 h 30 min	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
8 h 00 min	13,0 V	< 12,6 V	12,1 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
8 h 30 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
9 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
9 h 30 min	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
10 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
10 h 30 min	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
11 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
11 h 30 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
12 h 00 min	11,9 V	< 12,0 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
13 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,3 V	< 12,6 V
14 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,3 V	< 12,6 V
15 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,3 V	< 12,6 V
16 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,0 V	< 12,3 V
17 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,0 V	< 12,3 V
18 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,3 V	< 12,6 V	12,0 V	< 12,3 V
20 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,1 V	< 12,3 V
22 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,0 V	< 12,3 V
8 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,5 V	< 12,6 V	12,5 V	< 12,6 V
8 h 30 min	13,0 V	< 12,6 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
9 h 00 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V
9 h 30 min	12,0 V	< 12,3 V	12,0 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
10 h 00 min	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V
10 h 30 min	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V	12,1 V	< 12,3 V

Os ensaios foram realizados fazendo uso de um painel fotovoltaico de 10 W e tensão de até 18 V, uma válvula eletromecânica de 12 V e corrente de 100 mA com um ignitor eletrônico de 12 V e corrente de 150 mA.

A Figura 7.4, ilustra o painel frontal do controlador de carga com as sinalizações de carga durante a monitoração de carga da bateria. Sinalizações que resultaram nos dados inseridos na Tabela 7.2.



Figura 7.4 – Indicação das tensões dos LED's do Controlador de Carga
Fonte: Autor

De acordo com as informações da Tabela 7.2, os níveis de tensão da bateria, monitorados durante os ensaios, através de voltímetro e também pelo controlador de carga, apresentaram resultados parecidos.

Os resultados indicam que, das 25 medidas realizadas durante o tempo de ensaios, somente 2 medidas apontaram o nível de tensão da bateria inferior a 12 V (11,9 V), tanto através do voltímetro quanto através do controlador de carga.

8 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs o estudo de um sistema de geração de energia para um queimador de biogás, tornando-o autossuficiente energeticamente. Também propôs modificações mecânicas do gasômetro onde o queimador de biogás é fixado, essas modificações têm o objetivo de diminuir os desgastes mecânicos e consequentemente reduzir o número de manutenções no gasômetro.

A associação das tecnologias fotovoltaica e termoelétrica direta, proposta inicialmente neste estudo, foi suprimida, pois no decorrer dos estudos, ficou comprovada a ineficiência do sistema termoelétrico direto para esse tipo de aplicação. Os resultados obtidos foram desprezíveis em termos de geração de energia, principalmente quando comparados ao sistema fotovoltaico, que sozinho supriu a demanda de energia. Os fatores que contribuíram para esses resultados foram: pequena área para fixação dos módulos, limitando o número de módulos a serem utilizados, uma vez que, existe a necessidade de se associar os módulos termoelétricos para melhorar a sua eficiência e atingir níveis de tensão e corrente adequados. O tempo de queima do biogás que é insuficiente para proporcionar o aquecimento adequado do protetor de chamas onde os módulos são fixados. Dentro desse contexto, os módulos termoelétricos foram retirados deste projeto, podendo ser utilizados em estudos futuros com características mecânicas e funcionais diferentes das propostas neste projeto.

As medidas de carga da bateria, feitas através do sistema fotovoltaico, apresentaram bons resultados. Em três dias de testes com 15 horas de monitoração em cada dia, foi observado um adequado carregamento da bateria, de forma a atender de forma satisfatória a demanda de energia solicitada pelos circuitos do queimador de biogás.

Através dos estudos com o uso do sistema fotovoltaico, concluiu-se que o sistema atende a demanda de energia do queimador de biogás e possibilita sua autossuficiência energética, viabilizando sua instalação em locais distantes e não atendidos pelos sistemas convencionais de distribuição de energia. Inclusive, com investimentos inferiores, em muitos casos, aos investimentos realizados com a utilização de sistemas convencionais, onde se faz uso de cabos, isoladores, eletrodutos, postes e demais acessórios.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.; GODOY JÚNIOR, E.; CAMARGO, J. R.; MARCELINO, M. A.; GARCIA, R. L.; OLIVEIRA, J. Y.; JESUS, R. O.; CORREA, V. A. . **System Burner Low Flow of Biogas for Carbon Credits With Direct Thermoelectric and Photovoltaic Microgeneration**. Applied Thermal Engineering, 2014. MICROGEN III, 2013.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em jul/2013.

Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012 / **Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro: EPE, 2013., Acesso em 03/12/2013.

Bandeirante Energia (edp) S.A, consulta em 11/12/2012.

Biogás: **projetos e pesquisas no Brasil/CETESB, Secretaria do Meio Ambiente**; organização Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer; responsável técnico João Wagner Silva Alves. - São Paulo: SMA, 2006.

CAMARGO J. R.; SILVA, J. M.; GODOY JUNIOR, E.; SILVA, R. E.; NUNES, L. E. N. P.; RESENDE, F.S.; **Direct Thermoelectric Microgeneration Using Residual Heat of Photovoltaic System**, 2013.

CARVALHO, R. A.: **Sensoriamento de Gasômetro para Baixas Vazões de Biogás**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica - UNITAU 2013.

CASTRO, D. R. F.; CAMARGO, J. R.; GODOY JÚNIOR, E.; ALMEIDA, D.; GRANDINETTI, F. J.; COSTA, M. C.; ENARI, E. H.: **Introductory studies to analyse the feasibility photovoltaic modules for automotive air donconditioning power**. MICROGEN III, 2013.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa: **Biogás e o mercado de**

créditos de carbono. 2008. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br>. Acesso em 02/09/2013.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. <http://www.cetesb.gov.br>. Acesso em 01/04/2014.

Villalva M. G; Gazoli R. J; **Energia Solar Fotovoltaica.** São Paulo: Editora Érica, 2012.

Gerrini, D. P. **Iluminação: Teoria e Projeto.** São Paulo: Editora Érica, 2008.

GODOY JÚNIOR, E.; CAMARGO, J. R.; MARCELINO, M.A.; SILVEIRA, J. L.: **Development of a burner to measure biogas generation.** In: J.W.S. Longhurst - University of the West of England, UK & C.A. Brebbia - Wessex Institute of Technology, UK.(Org.). AIR POLLUTION. 1ed. Southampton, Boston: WIT Press, 2012.

GODOY JÚNIOR, E. **Desenvolvimento e avaliação de uma miniestação ecoeficiente de tratamento de esgoto e reuso de águas, com sistema registrador queimador, para baixas vazões de biogás e cogeração de energia.** Tese de doutorado em engenharia mecânica da UNESP, Guaratinguetá, 2010.

LIMA, O. R.: **Interfaces para Controle de Gasômetro para Queimador e Registrador de Baixas Vazões de Biogás.** Trabalho de conclusão de curso de Engenharia - UNITAU 2012.

MARCELINO, M. A.; GODOY JÚNIOR, E. **Sistema armazenador e queimador automático com registro de volume de biogás queimado (PI 0902381-0).** Revista da Propriedade Industrial, v. 2095, 2011.

Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 01/09/2013.

Pereira F.; Oliveira M. **Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica**. Porto: Publindústria, Produções de Comunicações, 2011.

Pereira, E. B; Martins, R. F; Abreu. S. L. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, ex.2, ed. 1, ed./2006.

SANTOS, V.; **Unidade de Controle de Gasômetro para Registrador de Baixa Vazão de Biogás**, Trabalho de conclusão de curso de Engenharia UNITAU 2012.

SENOIDAL ELETROMECAÂNICA IND. COM. LTDA. Consulta em 22/01/2014.

THERMONAMIC ELECTRONICS, <http://www.thermonamic.com> Acesso em 11/2012.

APÊNDICE

DIAGRAMA DO CIRCUITO ELETROELETRÔNICO DO QUEIMADOR DE BIOGÁS

