

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ – UNITAU
OSMAR DA ROCHA SIMÕES

**QUEIMA MICROCONTROLADA DE BAIXAS E
INCONSTANTES VAZÕES DE BIOGÁS PARA
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

TAUBATÉ – SP

2012

OSMAR DA ROCHA SIMÕES

**QUEIMA MICROCONTROLADA DE BAIXAS E
INCONSTANTES VAZÕES DE BIOGÁS PARA ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação
do Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino

Co-orientador: Prof. Dr. Ederaldo Godoy Júnior

TAUBATÉ – SP

2012

OSMAR DA ROCHA SIMÕES**QUEIMA MICROCONTROLADA DE BAIXAS E INCONSTANTES VAZÕES DE
BIOGÁS PARA ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação
do Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino

Co-orientador: Prof. Dr. Ederaldo Godoy Júnior

Data: 13 / 12 / 2012

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino

UNITAU/UNESP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Pedro Paulo Leite do Prado

UNITAU

Assinatura: _____

Prof. Dr. José Feliciano Adami

UNESP

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Márcio Abud Marcelino, pela orientação, confiança e incentivo e ao Prof. Dr. Ederaldo Godoy Júnior, pela orientação e informações que permitiram concluir este trabalho.

Aos amigos e familiares que sempre me apoiaram. E em especial à minha mãe Dagomar que muito me incentivou com este trabalho.

E aos Professores Gilberto Cuarelli, Jorge Athanasios Pimenidis e Thelmo João Martins Mesquita pelo apoio na realização do trabalho. Agradeço principalmente a Mestre Profa. Alice Reis de Souza pela ajuda na elaboração deste trabalho.

Também sou grato à Universidade de Taubaté, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de São Paulo e ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza que permitiram a realização deste mestrado.

Algo só é impossível até que alguém
duvide e acabe provando o contrário.

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema Queimador Registrador de Baixas Vazões de Biogás que permite a queima de biogás em miniestações de tratamento de esgoto, em que o aproveitamento energético não é viável devido à baixa e inconstante vazão de biogás. Este sistema vai ao encontro das necessidades mundiais de redução na emissão dos gases do efeito estufa, em especial o gás metano, presente no biogás produzido por meio da digestão anaeróbica do esgoto sanitário, que é aproximadamente vinte e uma vezes mais impactante à atmosfera que o gás carbônico. O princípio se baseia no armazenamento do biogás em um gasômetro volumétrico, tipo telescópio, que depois de cheio libera o biogás que é queimado automaticamente, podendo o volume queimado ser quantificado para posterior obtenção de créditos de carbono. O sistema de controle é de baixo custo e pode ser absorvido por instalações de pequeno porte. Para que o módulo de controle tenha capacidade de monitorar e quantificar o volume de biogás queimado, foram utilizados: um sensor para detecção do nível do gasômetro cheio, um sensor para detecção do nível do gasômetro vazio, uma válvula para controle da entrada de gás e um centelhador semelhante ao utilizado em um fogão de cozinha para a queima do biogás. Também foi utilizado um contador que permite o sistema quantificar o número de vezes que o gasômetro foi esvaziado e contabilizar o volume de biogás queimado.

Palavras-chave: Controle. Microcontrolador. Biogás. Queimador de biogás.

ABSTRACT

This work presents a system Burner Recorder Low Flows Biogas which allows the burning of biogas in sewage treatment small stations, in which the energy use is not feasible due to the low and unstable flow of biogas. This system meets the needs of global reduction in emissions of greenhouse gases, particularly methane, present in the biogas produced by the anaerobic digestion of sewage, which is approximately twenty-one times more damaging to the atmosphere than carbon dioxide. The principle is based on biogas storage in a volumetric gasometer, a kind of telescope, which after full releases biogas which is automatically burned, making it possible to be quantified to subsequently carbon credits attainment. It is a low cost system and can be absorbed by small installations. In order to enable the control module to monitor and quantify the volume of biogas burned, it was necessary to use a sensor for level detection of the full gasometer, a sensor for level detection the level of the empty gasometer, a valve to control the entry of gas and a spark-gap similar to that used in a kitchen stove for biogas burning. It was also utilized a counter which allows the system to quantify the number of times the gasometer was emptied and to measure the volume of biogas burning.

Keywords: Control. Microcontroller. Biogas. Biogas burner.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3.1 - Municípios, segundo a destinação final dos RSU	15
Figura 2.2.1 - Etapas simplificadas do tratamento de esgoto	21
Figura 2.3.1 - MiniETERA instalada na UNESP – Campus Guaratinguetá	23
Figura 3.1.1 - Gasômetro do sistema armazenador e queimador de biogás vazio	25
Figura 3.1.2 - Gasômetro do sistema armazenador e queimador de biogás cheio	26
Figura 3.2.1 - Circuito de interface do ignitor	28
Figura 3.2.2 - Curva Característica do SIDAC	29
Figura 3.2.3 - Circuito de interface da válvula	30
Figura 3.2.4 - Modelo da válvula utilizada	30
Figura 3.2.1 - Diagrama de blocos do circuito controlador do sistema	31
Figura 3.3.1 - Diagrama de blocos do circuito controlador do sistema de Marcelino & Godoy Júnior (2011), indicando a parte simplificada pelo circuito proposto	34
Figura 3.3.2 - Diagrama de blocos do circuito controlador do módulo controlador proposto	34
Figura 3.3.3 - Diagrama de blocos simplificado do módulo controlador de queima de biogás	35
Figura 4.1 - Fluxograma	37
Figura 4.2 - Gráfico comparativo do algoritmo de igualdade consecutiva	38
Figura 5.1 - Teste do gasômetro cheio	39
Figura 5.2 - Teste do contador iniciado	40
Figura 5.3 - Contador com valor incrementado	41
Figura 6.1 - Simulação do sistema de controle da ativação do ignitor e válvula	44
Figura 6.2 - Simulação do gasômetro cheio de biogás	45
Figura 6.3 - Chave seletora alimentando as portas do microcontrolador	46

LISTA DE ABREVIATURAS

CH ₄	- Gás metano
CO ₂	- Gás carbônico
CRUSP	- Conjunto Residencial da USP
EEPROM	- Memória apenas de leitura, programável e apagável eletricamente
ETA	- Estação de Tratamento de Água
ETE	- Estações de Tratamento de Efluentes
GC	- Gasômetro Cheio
GEE	- Gases do Efeito Estufa
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
GN	- Gás Natural
GV	- Gasômetro Vazio
LED	- Diodo Emissor de Luz
MDL	- Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
PIC	- Controlador de Interface Programável
PNSB	- Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RAFA	- Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
RSU	- Resíduos Sólidos Urbanos
SAAE	- Serviço Autônomo de Água e Esgoto

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos	14
Tabela 2 - Tabela de estados do multivibrador biestável RS	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO	12
1.2 MOTIVAÇÃO	13
1.3 DISCUSSÃO DO PROBLEMA	13
1.4 ABORDAGEM UTILIZADA E DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS	17
2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	19
2.1 FINALIDADE DA ETE	19
2.2 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ESGOTO	20
2.3 MINIAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	22
3 SISTEMA ARMAZENADOR E QUEIMADOR DE BIOGÁS	24
3.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA ARMAZENADOR	24
3.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE INTERFACE	28
3.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE	31
3.4 EVOLUÇÃO PROPOSTA DO SISTEMA DE CONTROLE	33
4 FLUXOGRAMA DO SISTEMA	36
5 IMPLEMENTAÇÃO DO CIRCUITO	39
6 RESULTADOS	42
7 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE - PROGRAMA	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um circuito com um microcontrolador de baixo custo, *PIC* (*Programmable Interface Controller* ou Controlador de Interface Programável), para implementação de um controlador de queima microcontrolada de biogás em miniestações de tratamento de esgoto, quando o aproveitamento energético não é viável devido à baixa e inconstante vazão de biogás. Este sistema vai ao encontro às necessidades mundiais de redução na emissão dos gases do efeito estufa (GEE), em especial o gás metano (CH_4) que é aproximadamente vinte e uma vezes mais impactante à atmosfera que o gás carbônico (CO_2) e é presente no biogás produzido por meio da digestão anaeróbica do esgoto sanitário.

O funcionamento do circuito consiste no armazenamento do biogás em um gasômetro volumétrico, tipo telescópio, que depois de cheio libera o biogás que é queimado automaticamente, podendo o volume queimado ser quantificado para posterior obtenção de créditos de carbono. O circuito desenvolvido trouxe melhorias se comparado ao circuito implementado por Marcelino & Godoy Júnior (2011) que justificou pedido de patente e que utilizou circuito biestável, astável e microcontrolador para controlar a queima do biogás. Este circuito executa todo o controle de queima eliminando a necessidade de biestável e astável, minimizando o sistema, reduzindo o custo e aumentando a confiabilidade.

1.2 MOTIVAÇÃO

O interesse no desenvolvimento deste projeto foi uma forma de contribuir na evolução de sistemas queimadores de biogás de baixa e inconstante produção, com minimização de circuito, reduzindo custos e manutenção bem como, contabilização do biogás queimado.

Segundo Simões *et al.* (2013), os queimadores que registram o volume de metano queimado existentes no mercado são importados, com vidas úteis limitadas, caros e indisponíveis em versões para baixas vazões, tornando-se inacessíveis para grande parte das aplicações.

Com o aumento da quantidade de condomínios, escolas, shoppings, pequenas empresas, vazadouros a céu aberto (lixões) a eliminação do biogás gerado por estes, faz-se necessária no auxílio de redução de poluentes lançados na atmosfera.

1.3 DISCUSSÃO DO PROBLEMA

Nos vazadouros a céu aberto e em estações de tratamento de efluentes (ETE), devido à degradação da matéria orgânica por biodigestão anaeróbia (sem presença de oxigênio) é gerado um composto gasoso constituído, basicamente, de metano (CH_4) e de dióxido de carbono (CO_2) denominado biogás (GARCILASSO, 2010). O biogás contribui para o efeito estufa e é extremamente prejudicial ao ambiente; portanto sua eliminação ou aproveitamento envolve muitas pesquisas.

O metano (principal composto do biogás) possui um potencial de aquecimento cerca de vinte e uma vezes maior que o do gás carbônico podendo ser utilizado em substituição e em complementação ao gás natural (GN) ou ao gás liquefeito de petróleo (GLP), o que explica sua utilização na geração de energia (CENBIO, 2008).

A utilização do biogás para geração de energia se enquadra nos quesitos de desenvolvimento sustentável, pois além de evitar o lançamento de gás metano na atmosfera, ainda é aproveitado de forma útil.

Segundo Maciel (2009), o tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil ainda é insignificante, pois existem aproximadamente 4.000 vazadouros a céu aberto (lixões) em operação, sem providências adequadas.

Conforme observação da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2008) o destino final dos RSU em 50,8% dos municípios brasileiros são destinados aos vazadouros a céu aberto, ver Tabela 1.

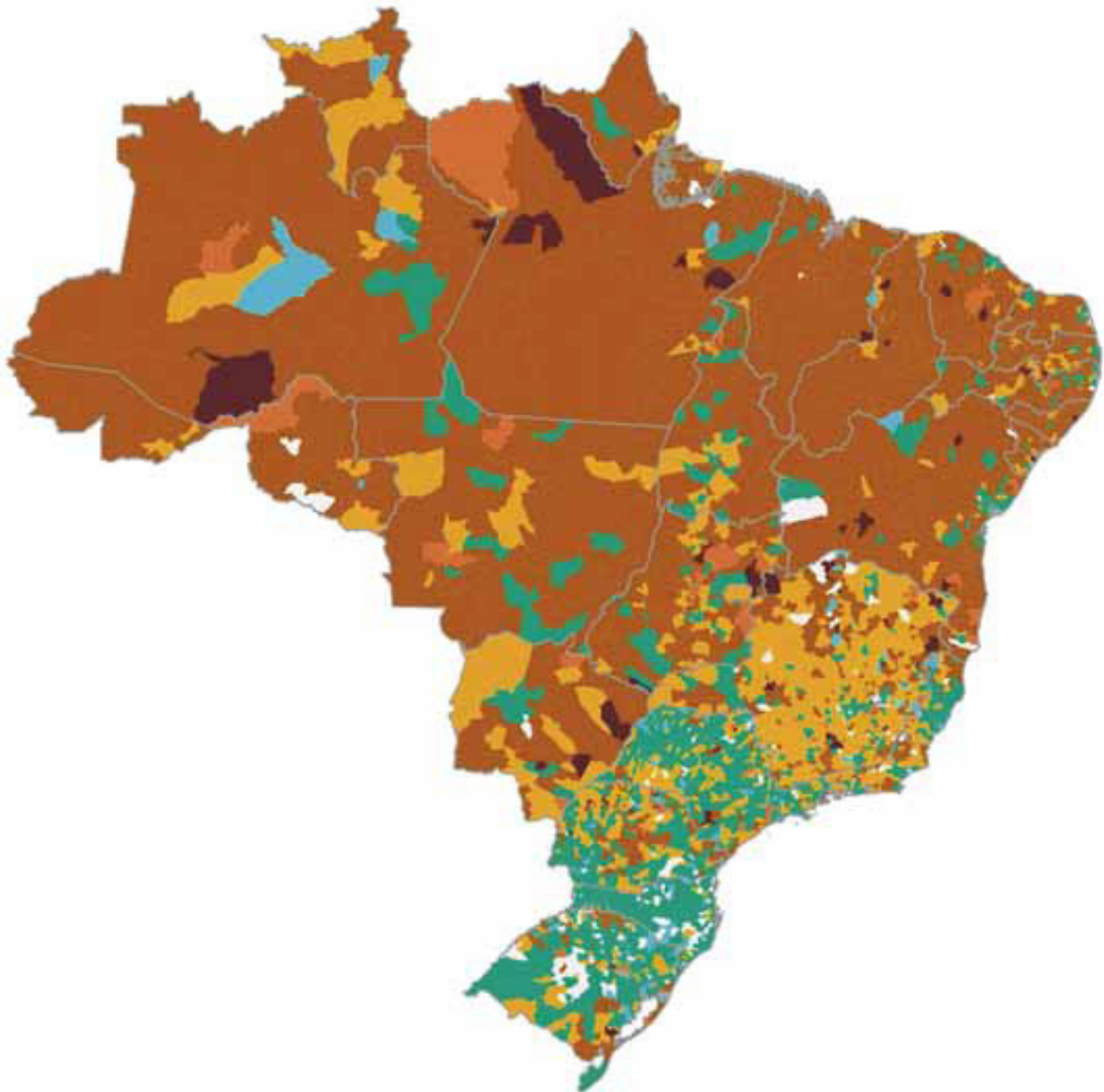
Tabela 1 - Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos

Ano	Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 1989/2008

Na Figura 1.3.1. é apresentado um cartograma do destino final dos RSU no Brasil, em que pode ser observada a predominância de vazadouros a céu aberto nas regiões Norte e Nordeste, demonstrando a falta de investimentos e projetos para melhoria do meio ambiente. Os aterros sanitários, em que o lixo é tratado, estão concentrados na região Sul e no Estado de São Paulo, o que é uma parcela muito pequena em vista dos problemas relacionados aos vazadouros a céu aberto no Brasil.

Segundo Audibert (2011), a utilização do biogás está em seu estágio inicial para pequenos e médios aterros do Brasil. A queima do gás metano em aterros contribui para redução do aquecimento global, mas o biogás pode ser também aproveitado como gerador de energia elétrica. Os “Mecanismos de Desenvolvimento Limpo” (MDL), criados pelo protocolo de Kyoto para reduzir o gás de efeito estufa (GEE), apresentam pequena divulgação e estão distantes da realidade dos pequenos e médios municípios.



- Aterro controlado e aterro sanitário
- Aterro sanitário
- Aterro controlado
- Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro sanitário
- Vazadouro a céu aberto (lixão) e aterro controlado
- Vazadouro a céu aberto (lixão), aterro controlado e aterro sanitário
- Vazadouro a céu aberto (lixão)

Figura 1.3.1 - Municípios, segundo a destinação final dos RSU
 Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Os gases de efeito estufa (GEE) são responsáveis pela retenção do calor na Terra e os mais abundantes na atmosfera são o vapor d'água e o gás carbônico (CO₂). A não existência dos GEE causariam uma redução de, aproximadamente, 33°C na temperatura da Terra; portanto estes gases são vitais à nossa existência (LEGGETT, 1992, p.12). A temperatura da Terra depende da quantidade de GEE lançados na atmosfera, mas um aumento excessivo destes provocam o aquecimento global. Estudos demonstram que houve um aumento da temperatura de 0,3 a 0,6°C desde a era pré-industrial. Se não houver controle do lançamento dos GEE na atmosfera há estudos que preveem aquecimento de 1°C até o ano de 2025 (LEGGETT, 1992, p.14).

Em 1997, na cidade de Kyoto, Japão, 160 países assinaram um acordo denominado Protocolo de Kyoto, que determina a redução da emissão de GEE. Este acordo determina às empresas que emitem poluentes no ambiente, independentemente do tipo de poluente, adquirirem créditos de carbono, em proporção à quantidade de poluente gerado. O crédito de carbono é um certificado que comprova a redução na emissão de GEE que deve ser convertido em valores financeiros para o desenvolvimento de projetos de sustentabilidade. Daí a preocupação em se contabilizar o volume de biogás queimado. Cada crédito de carbono é obtido com a redução ou eliminação de GEE equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono. (SILVA & PIRES, 2007).

Segundo Sato (2009), o Protocolo de Kyoto estabelece três mecanismos para os países atingirem suas metas de redução de emissões de poluentes a custos reduzidos:

- 1) Comércio de Emissões: permite que um país poluidor que não tenha atingido sua meta adquira cotas de crédito de carbono excedidas por outro país;
- 2) Implementação Conjunta: os países podem elaborar projetos para redução de emissões de poluentes em conjunto;
- 3) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): os países em desenvolvimento não necessitam atingir metas de redução de emissão de poluentes, porém no caso de algum país nesta condição contribuir com projetos de redução de GEE pode beneficiar países desenvolvidos que não atingiram suas metas vendendo seus créditos de carbono.

Cruz (2012) destaca que os projetos do MDL devem ser validados por uma entidade certificadora credenciada pelo Conselho Executivo do MDL, que certifique que o projeto adote normas e métodos corretos estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto.

Quando o biogás é adquirido em grande quantidade é justificado seu aproveitamento para geração de energia, porém nos casos de produção pequena ou inconstante, como o que ocorre em miniestações, condomínios ou pequenas empresas, é simplesmente lançado na atmosfera.

Segundo Garcilasso (2010) a ETE da Sabesp Barueri produz 24.000 Nm³/dia de Biogás para 25.200 Nm³/h de esgoto tratado enquanto o Conjunto Residencial da USP (CRUSP) produz 4 Nm³/dia de Biogás para 3 Nm³/h de esgoto tratado. Analisando os dados informados observa-se a discrepância entre o biogás gerado por ETEs e o gerado por condomínios, porém levando em consideração que existem muitos condomínios e empresas esta quantidade de biogás lançada na atmosfera não é desprezível, necessitando ser eliminada.

Este trabalho tem por objetivo propor um sistema queimador para pequenas vazões de biogás, queima e contabiliza pequenos volumes, impedindo que o gás metano presente no biogás, seja lançado na atmosfera. A associação deste queimador automático com pequenas estações de tratamento esgoto é uma proposta eficiente e economicamente viável, recomendada para implantação em escolas, pequenos condomínios, hospitais, entre outras que, se o volume de biogás queimado for somado, será verificada significativa proteção ao meio ambiente, além de eliminar o mau cheiro de gás sulfídrico presente no biogás.

1.4 ABORDAGEM UTILIZADA E DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

A proposta deste trabalho foi estudar o sistema Queimador Registrador de Baixas Vazões de Biogás e propor um sistema de controle econômico e confiável. A proposta foi implementada num simulador eletrônico e comprovadas na montagem prática descritas neste trabalho.

O capítulo 1 apresenta a introdução, objetivo, motivação e discussão deste trabalho.

O capítulo 2, "Estação de tratamento de esgoto", introduz a finalidade e funcionamento de uma estação de tratamento de esgoto.

No capítulo 3, "Sistema armazenador e queimador de Biogás", é especificado o funcionamento deste sistema.

O capítulo 4, "Fluxograma", descreve a programação elaborada no sistema de controle.

O capítulo 5, "Implementação do circuito", introduz a resposta obtida na montagem do circuito.

No capítulo 6, "Resultados", apresenta os resultados obtidos no aperfeiçoamento do sistema de controle elaborado.

E no capítulo 7, "Conclusão", apresenta a conclusão dos resultados obtidos.

2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Este capítulo apresenta a finalidade e o funcionamento das estações de tratamento de efluentes (ETEs) e miniestações de tratamento de efluentes. São analisadas, de modo geral, todas as etapas pelas quais o material captado é submetido e qual o destino final deste.

2.1 FINALIDADE DA ETE

Quando se verificou que a poluição afeta o ar, a vegetação e os rios e este último pode culminar na falta de água potável, o Homem começou a buscar meios de reduzir a emissão de poluentes. Várias campanhas têm surgido nos meios de comunicação, alertando e orientando a população em como contornar o problema reduzindo materiais não recicláveis, de difícil reaproveitamento e evitando desperdícios. Porém existem poluentes difíceis de serem evitados, como exemplos podem ser citados os dejetos humanos que são misturados com água potável por meio das descargas e lançados ao meio ambiente através das fossas sépticas, das redes de esgoto ou diretamente no solo, o que é um problema de saneamento básico e que em algumas regiões do Brasil ainda está sem solução.

A fossa séptica é um tanque enterrado que não deve estar tão próximo à residência, para evitar mal cheiro, mas não tão distante para limitar o comprimento dos canos; além de estar distante de poços para evitar contaminação por vazamento e percolação (fluxo de água pelo solo). Localizada no quintal da residência, recebe os dejetos provenientes de vasos sanitários e águas utilizadas nas pias das cozinhas, para sofrerem um processo de tratamento ou decantação, sendo ou não a parte líquida conduzida em seguida para um desaguadouro geral da área, região ou município (SAAE, 2012).

As ETEs são sistemas cuja finalidade é a de receber o material das redes de esgoto e separar a água do material sólido. Tanto a água como o material sólido, após tratamento, são reaproveitados. A água é escoada para os rios, lagos ou mares e o material sólido é utilizado como fertilizante.

2.2 ETAPAS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

Segundo a PNSB (2008), dos 5.564 municípios do Brasil, apenas 1.587 realizam tratamento do material lançado na rede de esgoto, e o despejo do esgoto não tratado pode causar poluição e comprometimento de recursos hídricos, como exemplo podem ser citados os efluentes de algumas pequenas comunidades ribeirinhas localizadas ao longo do rio Amazonas.

Para se evitar prejuízo à saúde pública e o aumento da mortalidade infantil devido à proliferação de doenças por meio da contaminação dos recursos hídricos com coliformes fecais, o esgoto coletado deve ser tratado (PNSB, 2008).

Existem várias formas de tratamento de esgoto nas ETEs, mas segundo Godoy Júnior (2010) o sistema de tratamento de esgoto predominante no Brasil é o que utiliza lodos ativados aeróbios (na presença de ar), que embora confiável, demanda energia elétrica para alimentação do processo de aeração, além de produzir lodo residual em grande quantidade.

No Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Guarulhos o material recebido passa por várias etapas de tratamento, descritas na Figura 2.2.1.

Da Figura 2.2.1 o processo de tratamento de esgoto se inicia com um sistema de grades com espaçamento variado, a fim de reter os materiais sólidos maiores (garrafas, plásticos, madeiras, papel, tecidos, entre outros), que podem comprometer o funcionamento das etapas seguintes.

Em seguida o material passa por um processo de remoção de areia para evitar abrasão nas tubulações e/ou obstrução dos equipamentos das etapas seguintes, este processo é denominado desarenação e ocorre por sedimentação, a areia vai para a parte inferior do recipiente pela ação da gravidade.

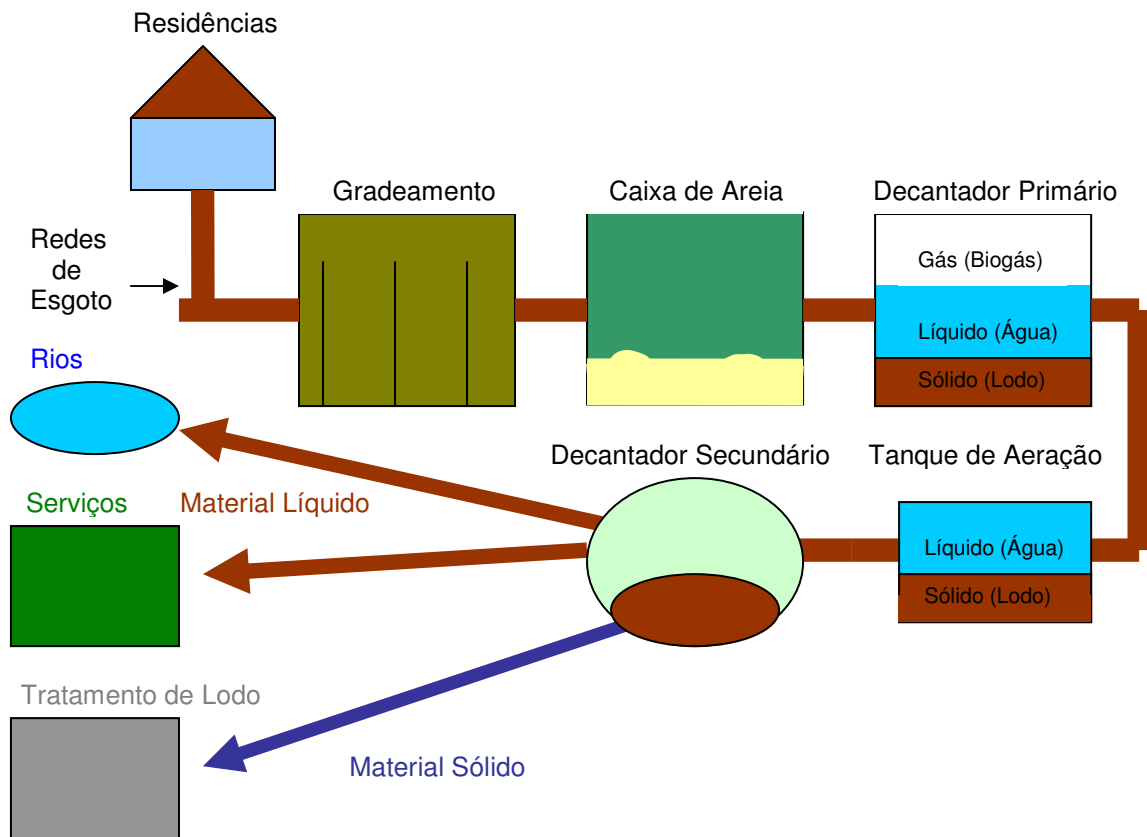


Figura 2.2.1 - Etapas simplificadas do tratamento de esgoto

Na etapa seguinte o material passa pelo decantador primário que neste caso é um biodigestor modelo RAFA (Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente), no qual a matéria orgânica em meio anaeróbico (ausência de oxigênio) é digerida por bactérias. Nesta etapa ocorre a separação da parte sólida, líquida e gasosa do material, pois por decantação o material sólido vai gradualmente para a parte inferior do tanque, deixando no meio a parte líquida e acima do tanque a parte gasosa gerada pelas bactérias (biogás) que segue para queima ou geração de energia. O material sólido é denominado lodo e o líquido efluente.

Após a decantação o lodo vai para o tanque de lodo e o efluente para o tanque de aeração, no qual bactérias, fungos, protozoários, entre outros, digerem a matéria orgânica transformando-a em gás carbônico, separando os resíduos sólidos (lodo) do líquido (água).

Em seguida a água tratada segue para os rios ou para uma Estação de Tratamento de Água (ETA) para ser utilizado em serviços, tais como lavar ruas, regar jardins, entre outros. E o lodo segue para tratamento a fim de ser desidratado e utilizado como adubo.

2.3 MINIESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

As miniestações de tratamento de esgoto demandam um número menor de etapas de tratamento dos dejetos em relação as ETEs. Por ser de pequeno porte podem ser utilizadas em condomínios, indústrias, escolas, entre outros, atendendo pequenas comunidades e/ou áreas que não são servidas por uma rede de tratamento de esgoto.

Como exemplo, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), *campus* Guaratinguetá foi implantada uma Miniestação de Tratamento de Esgoto e Reúso de Água (MiniETERA), sistema compacto sustentável, integrando processo anaeróbico (sem presença de oxigênio), aeróbico (com presença de oxigênio) e anóxico (sem a presença do oxigênio, com presença de nitrato), e que paralelamente produz energia elétrica por meio do biogás gerado nos processos, que alimenta o acionamento dos sistemas anaeróbios e aeróbico (GODOY JÚNIOR, 2010).

Segundo Godoy Júnior (2010) em geral, as bactérias metabolizam o efluente, conforme disponibilização de oxigênio, na seguinte sequência: primeiro aeróbia, sempre que houver oxigênio dissolvido no meio aquático, segundo via anóxia quando não houver presença de oxigênio dissolvido, porém houver presença de substâncias que recebam elétrons em reação química (aceptores de elétrons), tais como o NO_3 (nitrato), o NO_2 (nitrito), H_2PO_4 (fosfato), SO_2 (sulfato) ou o CO_2 (gás carbônico), e, por terceiro, via anaeróbia, quando não houver presença de oxigênio dissolvido e nem de substância acceptora de elétrons.

Na miniETERA o sistema anaeróbico é constituído por três biodigestores de fluxo ascendente em manto de lodo, dispostos em série, formando cascata e com sistema separador de fases em formato helicoidal, que estão indicados na Figura 2.3.1.

Devido ao biodigestor ser um tanque vertical, em alguns modelos são utilizadas bombas para impulsionar o fluxo; neste caso, denominado biodigestor de fluxo ascendente.



Figura 2.3.1 - MiniETERA instalada na UNESP – *Campus* Guaratinguetá (GODOY JÚNIOR, 2010)

Segundo Campos *et al.* (2004) no biodigestor anaeróbio de manta de lodo, o efluente entra pelo fundo e segue para o topo em fluxo ascendente, passando por três etapas: no primeiro biodigestor, por decantação, a matéria orgânica insolúvel do efluente permanece no fundo do reator no leito de lodo e a parte mais solúvel segue adiante; no segundo biodigestor, repete o processo, ficando a parte mais densa na manta de lodo e o efluente que restou segue; finalmente, no terceiro biodigestor há separação da parte sólida restante (lodo), líquida (efluente) e gasosa (biogás).

Na miniETERA os sistemas aeróbio e anóxico são constituídos por um biodigestor aeróbio e anóxico tubular vertical constituído por telas com microperfurações que permitem grande quantidade de transferência de oxigênio, por meio da passagem de bolhas de ar.

O cogrador de energia da miniETERA, acionado a biogás, é capaz de produzir, simultaneamente, energia elétrica e água quente. Além disso o sistema reutiliza a água para ferti-irrigação.

3 SISTEMA ARMAZENADOR E QUEIMADOR DE BIOGÁS

Este capítulo apresenta o projeto “Sistema Armazenador e Queimador Automático com Registro de Volume de Biogás Queimado” (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011) e as devidas modificações propostas neste trabalho.

3.1 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA ARMAZENADOR

As Figuras 3.1.1 e 3.1.2 mostram o conjunto do gasômetro e queimador na condição gasômetro vazio em corte de perfil e na condição cheio e em início de combustão do biogás, respectivamente.

O sistema armazenador e queimador automático com registro de volume de biogás queimado projetado por Marcelino & Godoy Júnior (2011) é constituído por um gasômetro tipo telescópio, construído com dois copos cilíndricos, um de diâmetro maior (2) e outro de diâmetro menor (5) encaixados de forma invertida, sendo o menor denominado campânula. A campânula (5) é instalada solta, submersa em água, com o centro de gravidade em posição que evita o seu tombamento, mantendo-a sempre na posição vertical devido ao lastro flutuante (3). O conjunto pode ser construído em PVC, alumínio, aço inoxidável, entre outros, e é responsável pelo armazenamento do biogás (18), que chega no gasômetro por meio do tubo de entrada (1) se acomodando na campânula (5), conforme é visto nas Figuras 3.2.1 e 3.2.2.

A saída do biogás do gasômetro é realizada por um tubo em material flexível sanfonado (9) que se expande com o gasômetro vazio (Figura 3.1.1) e se retrai com o gasômetro cheio (Figura 3.1.2). A válvula eletromecânica (12), do tipo *on/off*, inicialmente fechada, impede a saída do biogás enquanto o gasômetro não está cheio (Figura 3.1.1), é aberta quando o mesmo encontra-se cheio (Figura 3.1.2) e nesta situação a campânula (5) flutua na superfície da água.

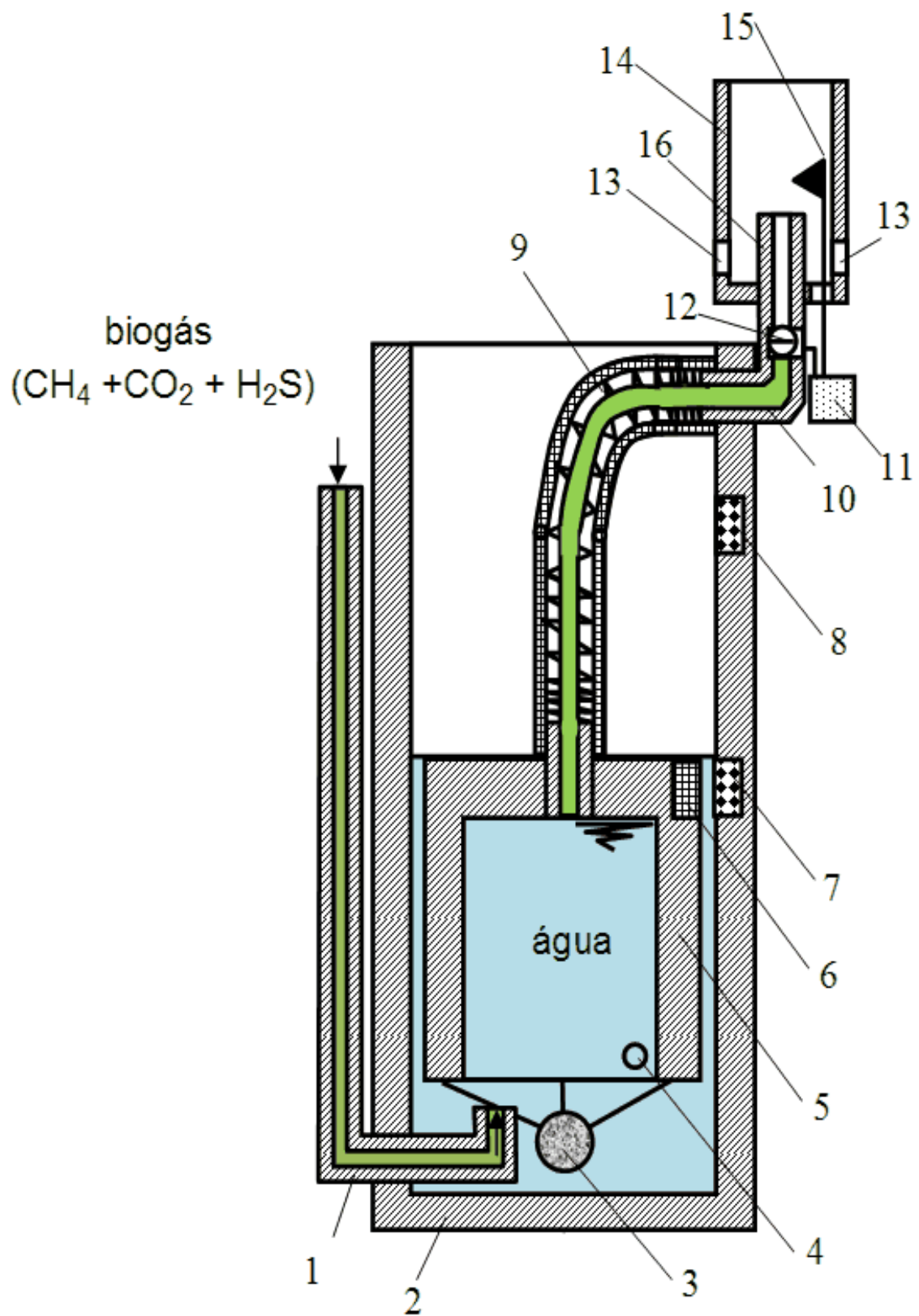


Figura 3.1.1 - Gasômetro do sistema armazenador e queimador de biogás vazio (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011)

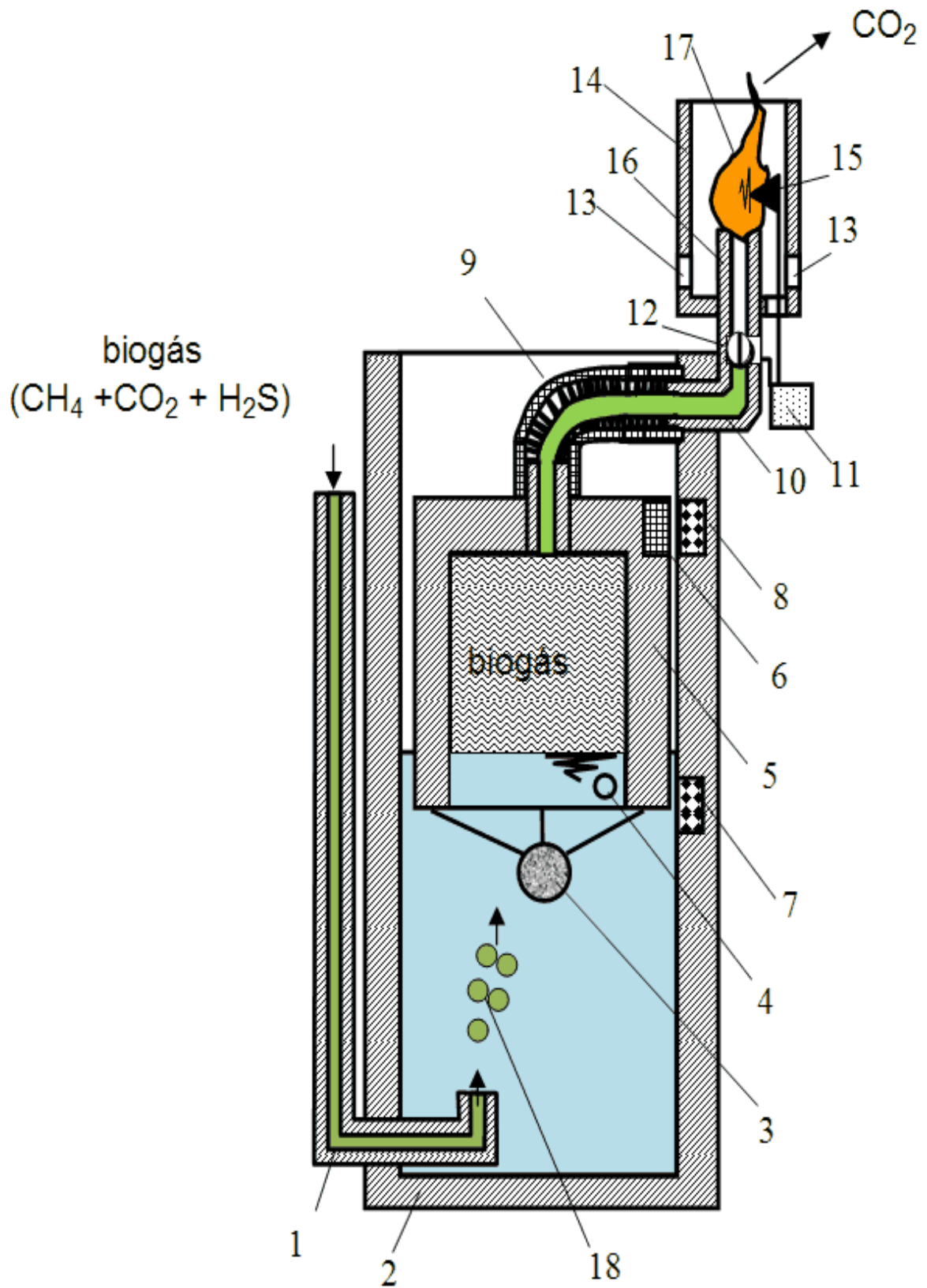


Figura 3.1.2 - Gasômetro do sistema armazenador e queimador de biogás cheio (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011)

O sistema possui duas microchaves eletromagnéticas, que são acionadas por um ímã permanente (6) fixado na parte superior da campânula (5). Uma microchave (8) instalada na parte superior do copo externo (2), que indica gasômetro cheio (GC); e outra (7) instalada na parte inferior, que indica gasômetro vazio (GV), estas chaves são necessárias para o ignitor (11) não funcionar todo o tempo ou muitas vezes, aumentando a vida útil do conjunto; isto garante a realização da função histerese do sistema, tendência de um material ou sistema manter suas propriedades até que receba algum estímulo que pode ser o mesmo estímulo que recebeu ou outro.

Quando a chave GC (8) é ligada, informando que o gasômetro está cheio, a válvula eletromecânica (12) é acionada, ficando na posição aberta liberando o biogás. Neste instante o ignitor eletrônico (11) é acionado intermitentemente com períodos de 5 segundos, permanecendo 1 segundo ligado, gerando faíscas no eletrodo (15) garantindo a operação de queima com a presença de chama contínua (17). O tubo flexível sanfonado (9) está conectado a um tubo rígido (10), antes da válvula eletromecânica (12) que está conectada a uma biqueira (16) queimadora de biogás, dentro de um protetor de chama (14), em diâmetro maior que a da biqueira (16), com furos para entrada de ar (13). Internamente ao protetor de chama está fixado o eletrodo (15) do ignitor (11), que somente estará operando durante o período de esvaziamento do gasômetro.

O acionamento intermitente do ignitor (11) é para que este não fique sobrecarregado, mas acione o eletrodo (15) em intervalos que garantam chama contínua (17), isto é necessário uma vez que os elementos (11) e (15) determinam o índice de confiabilidade do sistema.

Após o início do processo de queima do biogás a operação se manterá até que a chave GV (7) seja acionada, indicando que o gasômetro está vazio. Neste momento o ignitor (11) é desligado e a válvula eletromecânica (12) é fechada. A queima do biogás somente será reiniciada quando a chave GC (8) for novamente acionada.

O furo (4) existente na parte inferior da campânula (5) funciona como válvula de segurança e, na ausência de energia elétrica, quando o volume ultrapassar a capacidade máxima do gasômetro, o biogás é liberado sem queima.

3.2 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE INTERFACE

O gasômetro apresenta dois sistemas de interface: interface do ignitor e interface da válvula. A Figura 3.2.1 representa a interface do ignitor desenvolvido por Marcelino & Godoy Júnior (2011).

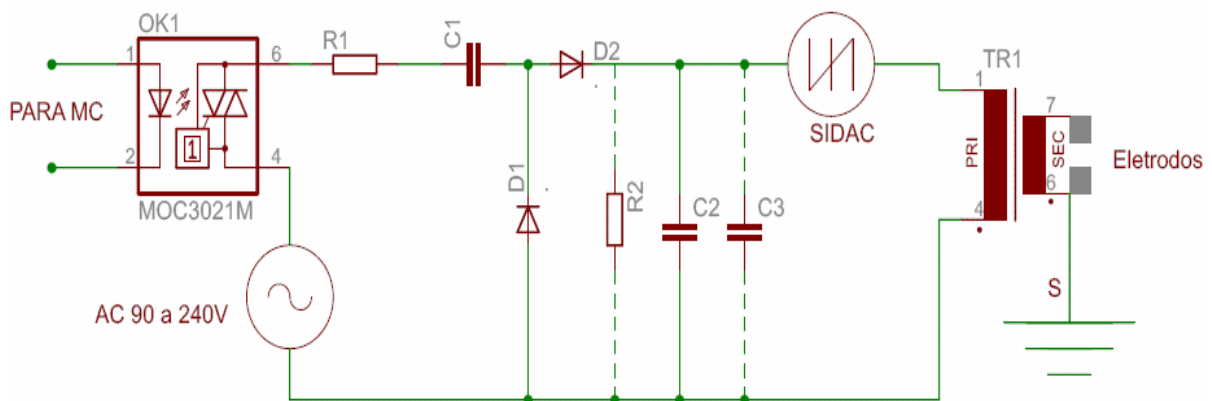


Figura 3.2.1 - Circuito de interface do ignitor (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011)

O microcontrolador controla a interface do ignitor através de um fotoacoplador que é constituído por um LED infra-vermelho que irá acionar o disparo do TRIAC.

Segundo Lima (2012) o ignitor é um gerador de faísca que utiliza um transformador de ignição de alta tensão, ligado a um par de eletrodos de forma a obter uma diferença de potencial de aproximadamente 3 kV/mm para romper a rigidez dielétrica do ar e gerar uma faísca inicial para o acendimento da chama em queimadores industriais, que exige um monitoramento constante para manter acesa a chama piloto. No caso em que a produção de gás é inconstante a ignição por chama piloto não é viável devido ao alto custo e manutenção constante.

No gasômetro de baixa e inconstante vazão é utilizado um ignitor para geração de centelha por combustão do tipo SIDAC (Silicon Diode for AC) que é um componente eletrônico que ao ser disparado pode conduzir correntes alternadas de alta intensidade. Apresenta uma curva característica de resposta similar a uma lâmpada de neon, conduzindo quando uma tensão de disparo é aplicada em qualquer sentido. A curva característica do SIDAC é representada na Figura 3.2.2.

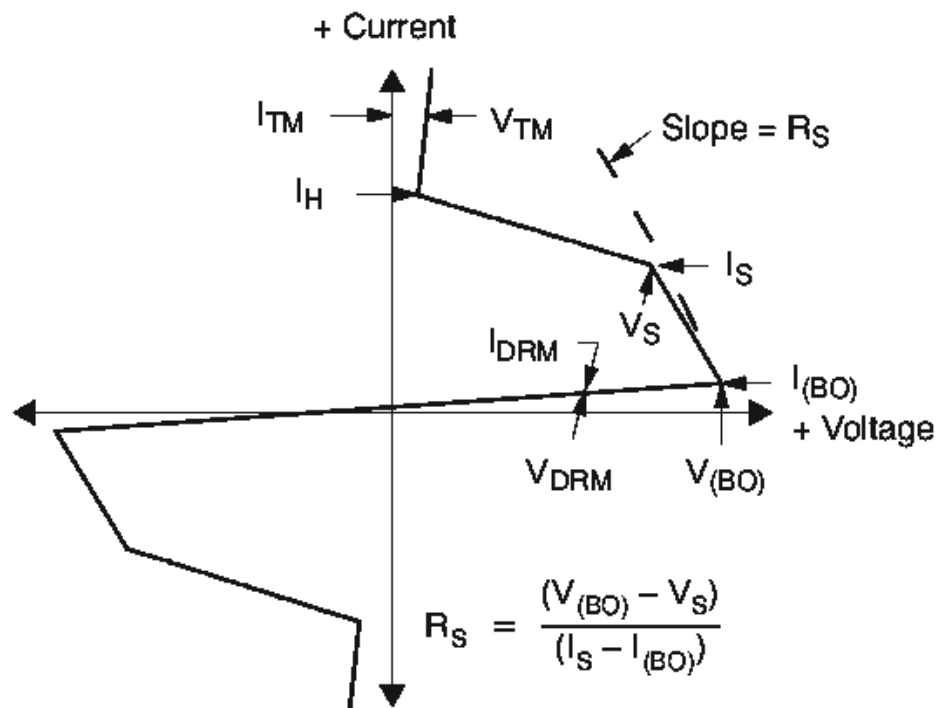


Figura 3.2.2 - Curva Característica do SIDAC (ONSEMI, 2012)

A interface do ignitor recebe uma alimentação elétrica alternada que pode compreender entre 90 e 240 Volts. Utilizando o circuito dobrador de tensão, a energia da rede é armazenada por alguns ciclos no capacitor e posteriormente é utilizada para atingir a tensão de disparo do SIDAC. As cargas elétricas acumuladas no capacitor introduzem uma tensão de aproximadamente 270 Volts no primário do transformador que gera uma tensão induzida de aproximadamente 20.000 Volts no secundário do transformador. O distanciamento dos eletrodos do ignitor determina a tensão no secundário do transformador, para que esta tensão de referência seja mantida o eletrodo deve estar distanciado no máximo 4 mm.

Para a interface da válvula o microcontrolador controla o acionamento da válvula, que é responsável pela liberação do biogás acumulado no gasômetro para sua posterior queima, através do transistor que aciona uma válvula solenóide normalmente fechada. A válvula utilizada neste sistema apresenta uma estrutura em PVC, que é um material mais apropriado para ser utilizado com o biogás, evitando o uso das tradicionais válvulas de corpo de alumínio que são utilizadas nos sistemas queimadores industriais (LIMA, 2012). A válvula adotada no sistema é muito utilizada em máquinas de lavar roupas e é acionada com uma alimentação de 12 Volts,

conforme o circuito de interface da válvula da Figura 3.2.3. E a Figura 3.2.4 apresenta um modelo da válvula utilizado no gasômetro.

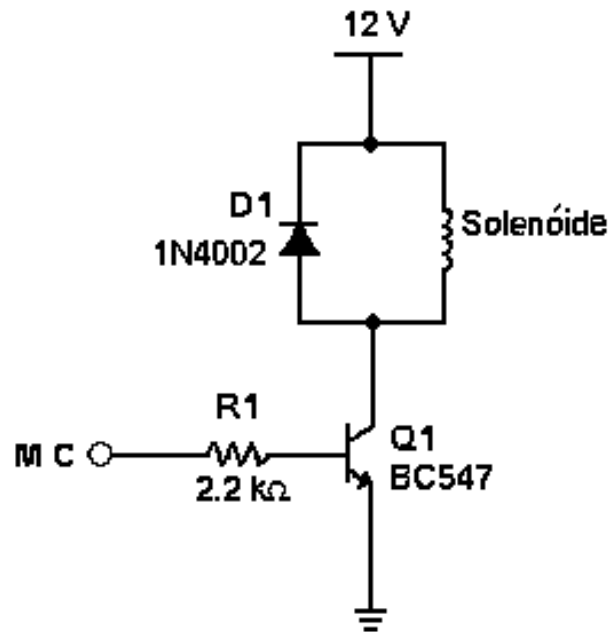


Figura 3.2.3 - Circuito de interface da válvula (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011)

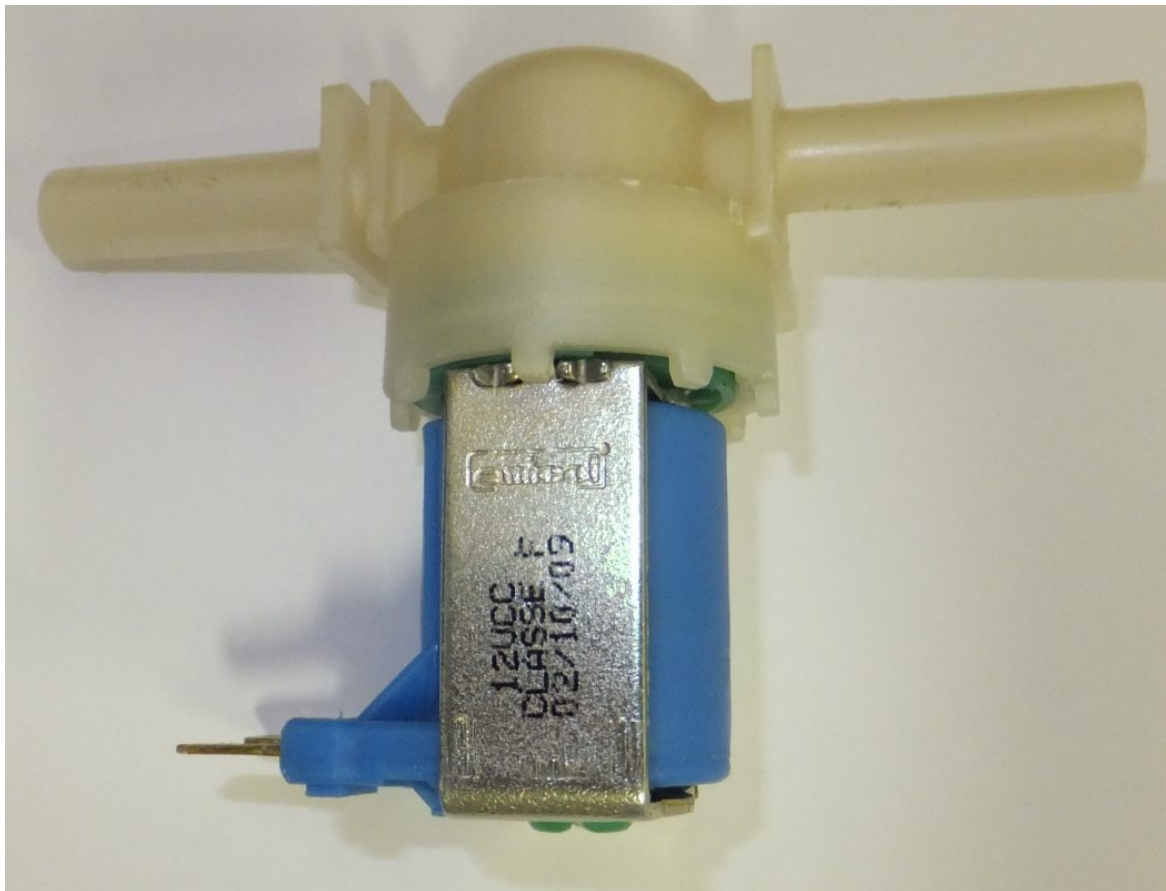


Figura 3.2.4 - Modelo da válvula utilizada

3.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE

O projeto de Marcelino & Godoy Júnior (2011) apresenta um módulo controlador que monitora e controla a entrada e saída de biogás do gasômetro e também a queima desse, evitando a necessidade de chama piloto; e o diagrama de blocos deste módulo é apresentado na Figura 3.3.1.

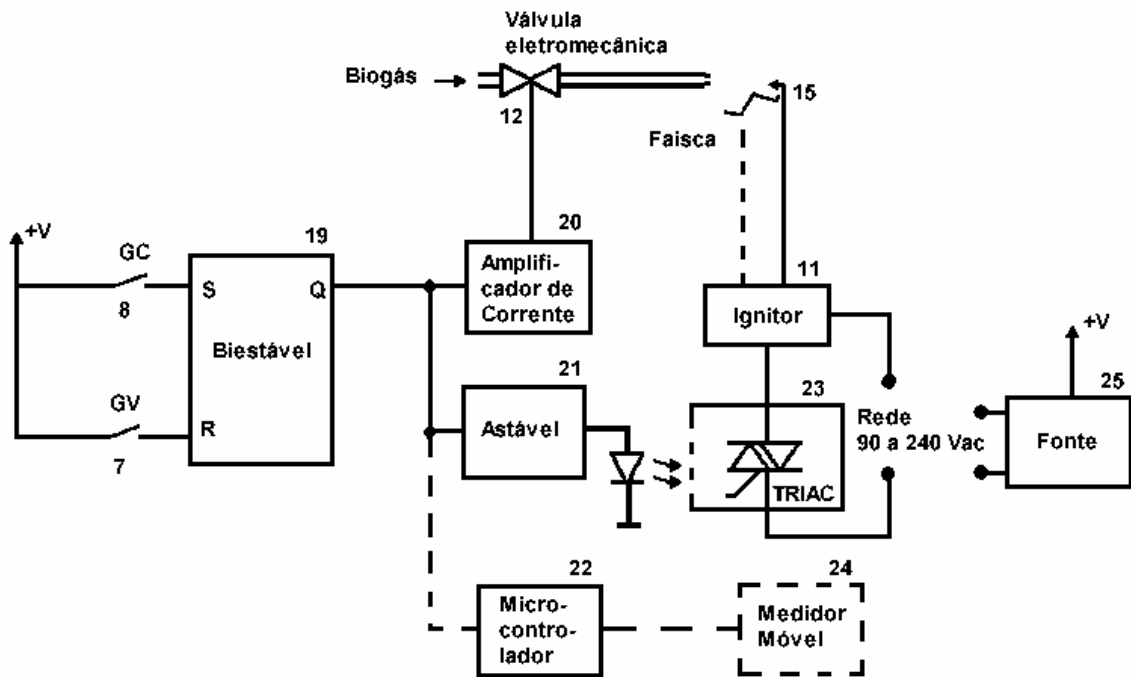


Figura 3.3.1 - Diagrama de blocos do circuito controlador do sistema (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011)

O sistema é constituído por um multivibrador biestável tipo RS (Reset/Set) (19), responsável pela geração da histerese, que opera conforme a Tabela 2.

Para alimentar a válvula eletromecânica (12) é utilizado um amplificador de corrente (20) e para gerar a cadência, 1 segundo ativado e 4 segundos desativado, é utilizado um multivibrador astável (21), construído com o circuito integrado *Timer 555*, ambos são ativados pelo multivibrador biestável (19) na condição de queima do biogás. O multivibrador astável (21) aciona, por meio de um fotoacoplador com TRIAC (23) disparado por pulsos, o ignitor (11) para geração de faíscas, durante o período ativo (1 segundo).

Tabela 2 - Tabela de estados do multivibrador biestável RS (MARCELINO & GODOY JÚNIOR, 2011)

Entradas		Saída (Q)	
Set (GC)	Reset (GV)	Válvula	Ignitor
<i>on</i>	<i>off</i>	<i>on</i>	1 <i>on</i> / 4 <i>off</i>
<i>off</i>	<i>on</i>	<i>off</i>	<i>off</i>
<i>off</i>	<i>off</i>	(estado anterior)	(estado anterior)
<i>on</i>	<i>on</i>	(estado proibido)	(estado proibido)

Na Figura 3.3.1 é verificado que o ignitor (11) que é ativado pelo TRIAC (23) e a fonte de alimentação (25) que fornece uma tensão regulada para o circuito eletrônico controlador do sistema são alimentados pela rede de energia elétrica. O microcontrolador opcional (22) permite a contabilização do volume queimado e possibilita a comunicação serial com o meio externo (24).

Neste sistema a histerese é garantida pela existência de um filtro de hardware que é necessário para se eliminar os repiques mecânicos das chaves e ruídos eletromagnéticos. Este filtro está contemplado pela operação do multivibrador biestável tipo RS (19). O processo descrito pelas chaves GC (8) e GV (7) resume a operação do multivibrador biestável tipo RS (19) e a Tabela 2 descreve esse comportamento.

As chaves GC (8) e GV (7) por estarem em posições diferentes nunca são acionadas simultaneamente, garantindo que a situação de ambas em *on* não ocorra. No caso de ambas em *off*, o circuito, por histerese, mantém seu estado anterior, até que uma das chaves seja acionada, por exemplo, quando o gasômetro está cheio, o ímã permanente aciona a chave GC (8), que fecha a válvula eletromecânica (12) e ativa o ignitor (11), iniciando a queima do biogás, a medida que o biogás vai queimando e a campânula (5) vai descendo o ímã permanente que se afasta da chave GC (8), mas ainda não atingiu a chave GV (7), portanto a condição da válvula (12) e do ignitor (11) se mantém, até o acionamento da chave GV (7), que abre a válvula (12) e desliga o ignitor (11) e o processo é reiniciado com a entrada do biogás, estas situações podem ser observadas na Tabela 2.

Para gerenciar todo o processo é utilizado um microcontrolador da *Microchip*, o *PIC16F628*, e foi criada uma rotina específica para a chama, garantindo que a contabilização da queima seja efetuada, e o volume mínimo queimado. Caso a chama permaneça apagada depois de ter sido liberado o biogás para queima, um

LED (diodo emissor de luz) vermelho ficará pulsando indicando irregularidades na operação, fechando simultaneamente a válvula eletromecânica impedindo a entrada de biogás. Neste caso o processo somente voltará ao seu funcionamento normal, por meio do acionamento manual de uma chave de *reset*, disponível para essa finalidade.

3.4 EVOLUÇÃO PROPOSTA DO SISTEMA DE CONTROLE

Este projeto é uma evolução do circuito de controle desenvolvido por Marcelino & Godoy Júnior (2011) que se baseia no armazenamento e queima controlada de biogás, que ocorre em estações de baixa e inconstante vazão. A Figura 3.3.1 apresenta o diagrama de blocos do módulo de controle.

O circuito proposto se baseia na substituição dos circuitos biestável (19) e astável (21) pertencentes ao módulo controlador do circuito de Marcelino & Godoy Júnior (2011), parte tracejada na Figura 3.4.1, por um microcontrolador; que também quantifica o número de vezes que o gasômetro é esvaziado, o que era opcional no circuito anterior.

No diagrama em blocos do circuito proposto, Figura 3.4.2, é observado que um único microcontrolador executa todas as funções do biestável, do astável e do microcontrolador opcional que quantifica o número de vezes que o gasômetro é esvaziado, existentes no circuito da Figura 3.4.1.

O diagrama em blocos simplificado do circuito desenvolvido está apresentado na Figura 3.4.3. Os sensores GC e GV enviam sinais ao controlador que ativa as interfaces de controle do ignitor e da válvula de entrada do biogás.

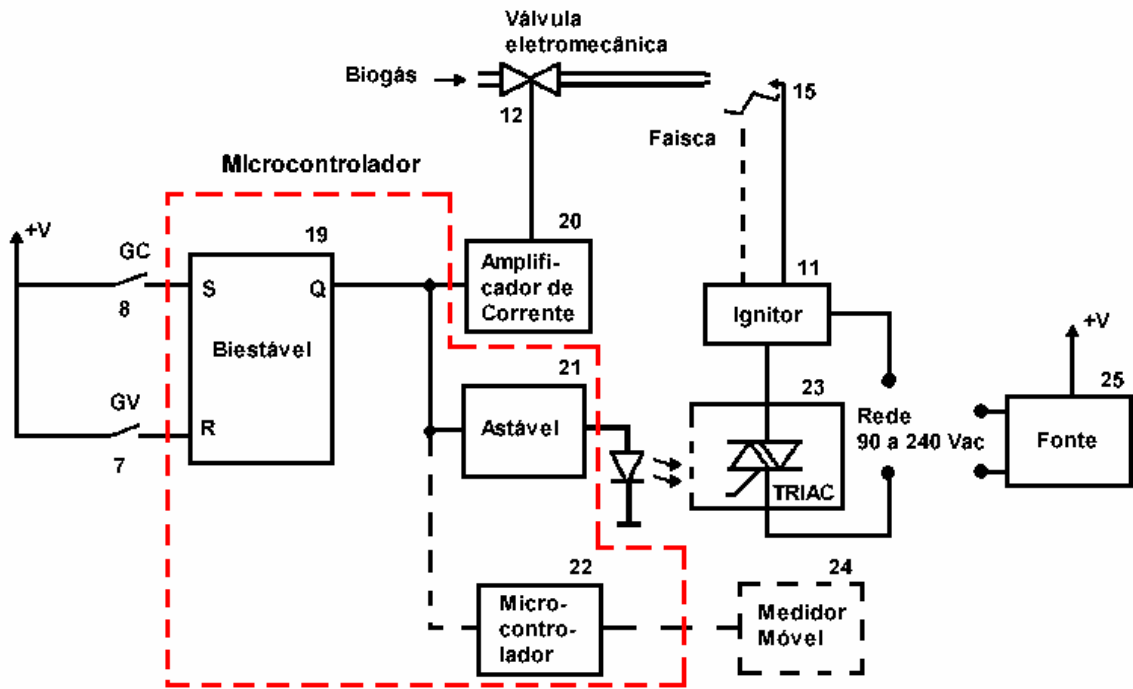


Figura 3.4.1 - Diagrama de blocos do circuito controlador do sistema de Marcelino & Godoy Júnior (2011), indicando a parte simplificada pelo circuito proposto

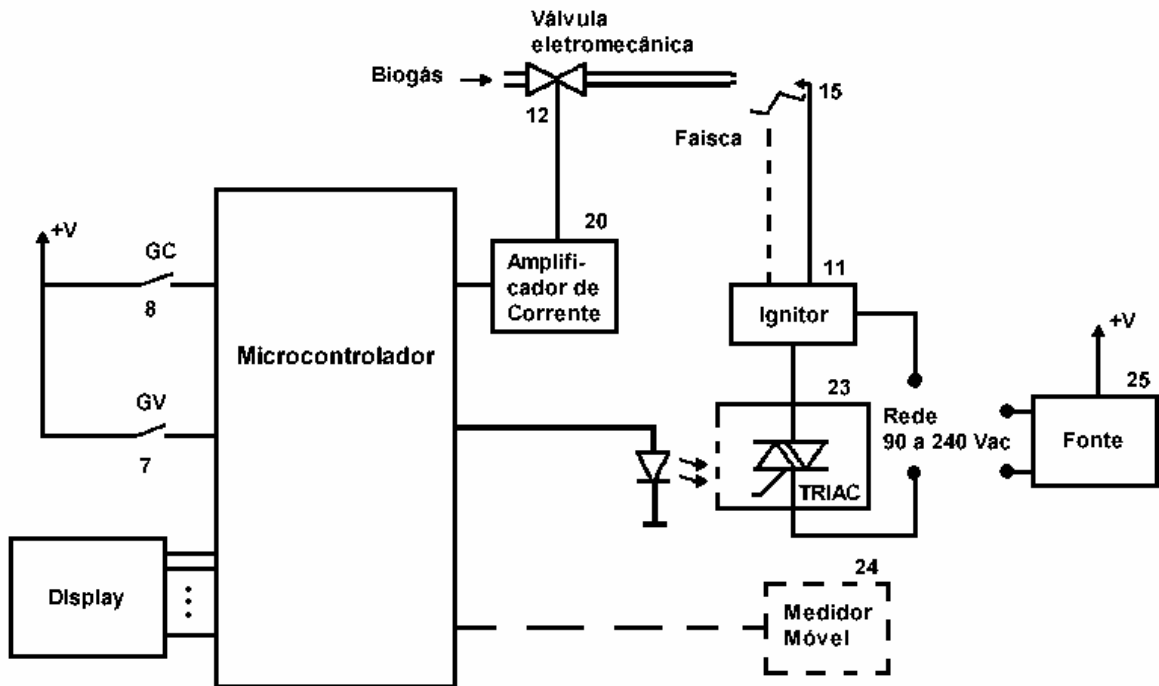


Figura 3.4.2 - Diagrama de blocos do circuito controlador do módulo controlador proposto

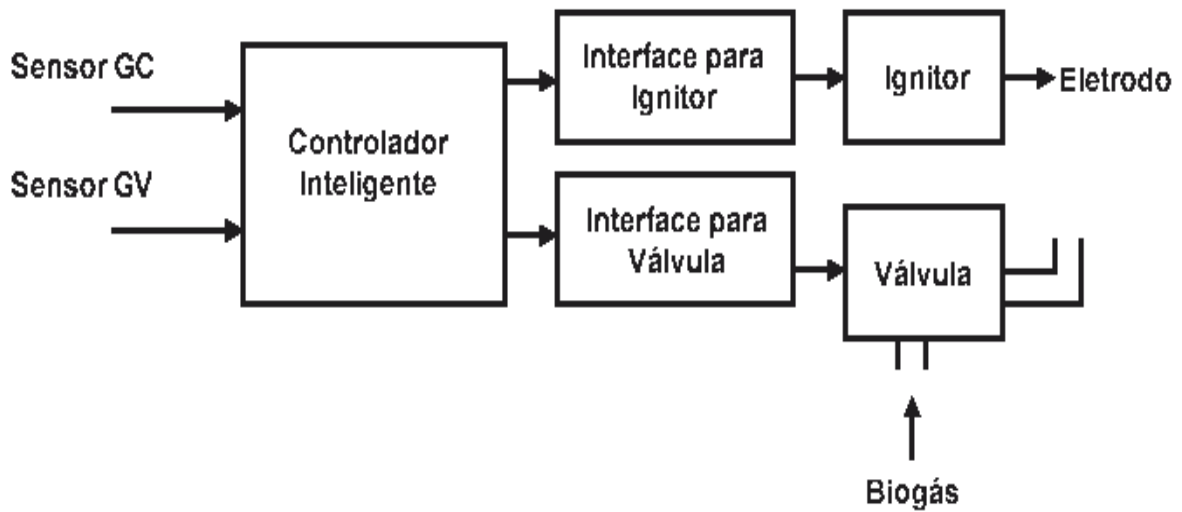


Figura 3.4.3 - Diagrama de blocos simplificado do módulo controlador de queima de biogás

O projeto apresenta a realização das funções de controle de armazenamento, queima e contabilização do volume de biogás queimado, utilizando apenas um microcontrolador de baixo custo, que possui memória apenas de leitura, programável e apagável eletricamente (EEPROM), que mantém a informação, mesmo durante a ausência de energia elétrica.

O resultado do volume de biogás queimado contabilizado é enviado pelo microcontrolador, para apresentação, a um *display* de cristal líquido; o que é outra evolução do circuito anterior que mesmo utilizando o microcontrolador opcional para a contabilização do volume de biogás queimado, não apresenta o resultado em *display*, apenas envia os dados para o medidor móvel.

A capacidade do gasômetro das miniestações depende do projeto local, portanto para atingir a quantidade mínima de biogás queimado para obter um crédito de carbono, o gasômetro é esvaziado o número de vezes equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono; portanto a informação da contabilização do biogás queimado permite verificar a quantidade de créditos de carbono obtida.

4 FLUXOGRAMA DO SISTEMA

Neste capítulo é apresentado o fluxograma elaborado para execução de controle do sistema armazenador e queimador de biogás.

A Figura 4.1 apresenta o fluxograma desenvolvido, destacando a função de leitura das chaves eletromagnéticas, que recebem um filtro de repiques por software, para eliminar o efeito das ondulações do copo móvel do gasômetro, equivalente ao efeito de repiques de contatos mecânicos; para garantir que ruídos não sejam considerados sinais oriundos das chaves eletromagnéticas e de zerar contador. O algoritmo utilizado foi o de igualdade consecutiva, que segundo Dotta Junior (1981) consiste em analisar o nível lógico do sinal recebido pelo microcontrolador; caso o nível se mantenha constante em duas análises consecutivas o sinal é considerado válido, caso contrário é considerado ruído.

A Figura 4.2 exemplifica o algoritmo de igualdade consecutiva. O sinal de comparação representa o sinal gerado por software para auxiliar na verificação se o sinal recebido das chaves é por ativação ou repique. Comparando os dois gráficos observa-se que o intervalo de comparação é maior que o de ocorrência de repiques, portanto esses não são considerados pulsos válidos, pois o microcontrolador compara o nível do pulso recebido das chaves com o gerado por software e considera válido o pulso que possui mesmo nível lógico em duas análises consecutivas. No exemplo da Figura 4.2, o pulso 1 tem mesmo nível lógico que o do sinal recebido naquele instante, ambos alto, porém o nível do sinal recebido no instante do pulso 1 não manteve-se para o pulso consecutivo 2, portanto esse pulso é considerado repique e descartado. Mas comparando o nível lógico do pulso da chave com o nível dos pulsos consecutivos 3 e 4 observa-se que são iguais, portanto é considerado pulso válido.

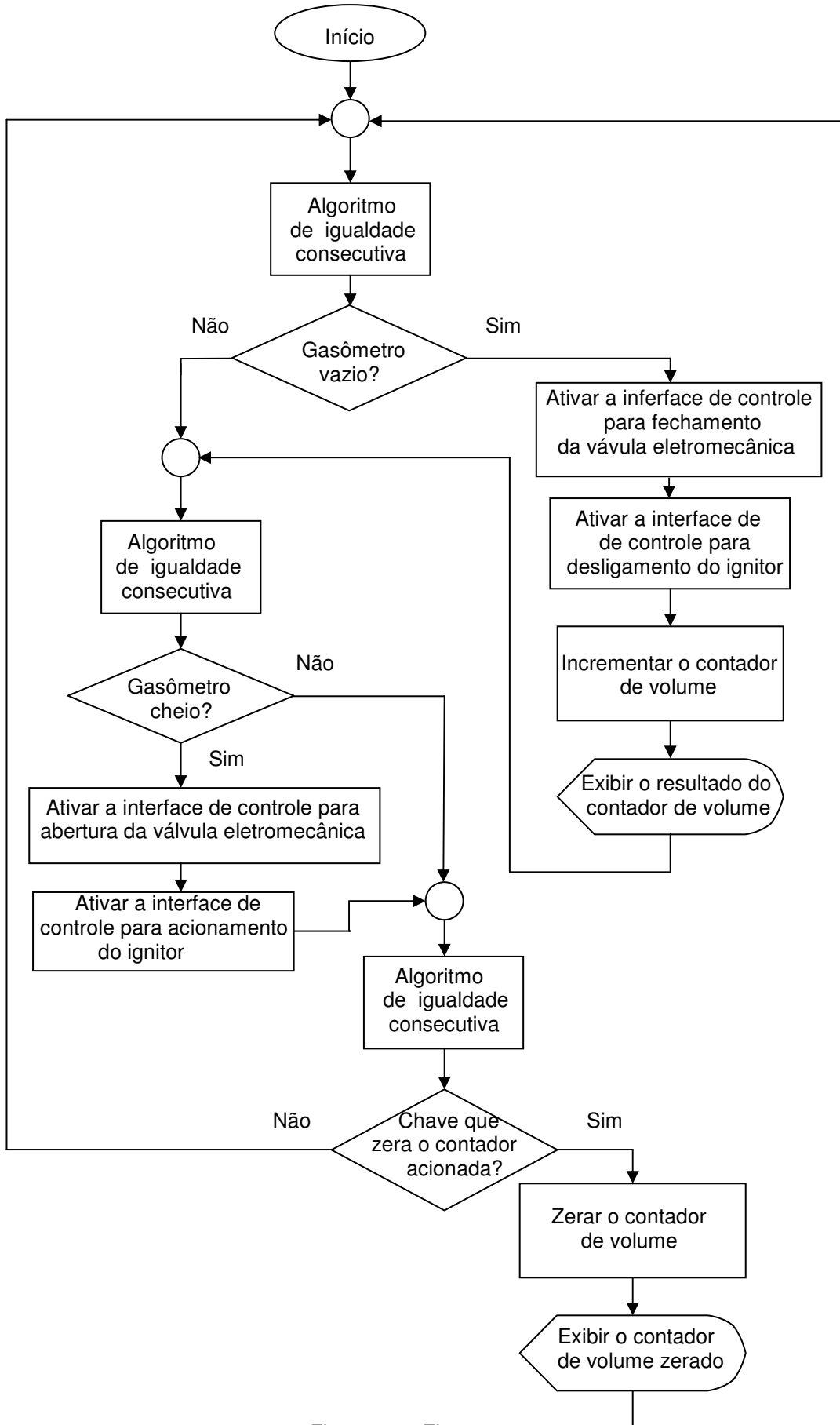


Figura 4.1 - Fluxograma

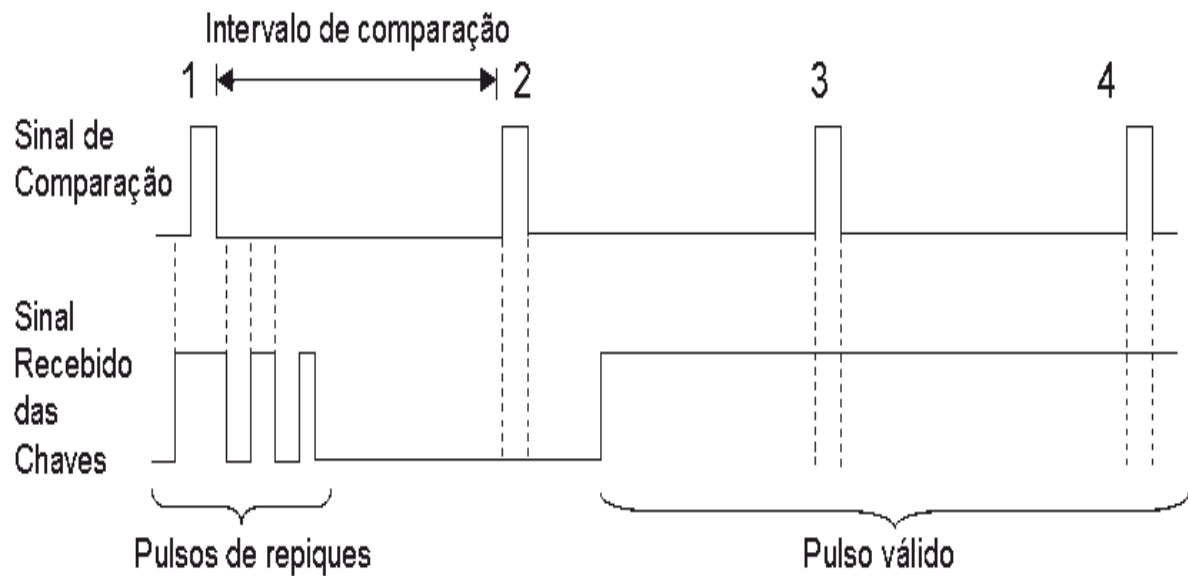


Figura 4.2 - Gráfico comparativo do algoritmo de igualdade consecutiva

Neste projeto quando qualquer uma das chaves eletromagnéticas ou *push-bottom* é acionada e o sinal recebido pelo microcontrolador, para garantir que pulsos devido a repiques das chaves sejam descartados, em intervalos de tempo de 100 ms, o microcontrolador verifica novamente o nível do sinal de entrada; se este for idêntico ao anterior é considerado válido, caso contrário é descartado.

No fluxograma, Figura 4.1, é observado que inicialmente o algoritmo verifica se a chave GV está acionada, caso afirmativo, as interfaces de controle de fechamento da válvula eletromecânica e de desligamento do ignitor são ativadas; em seguida o contador de crédito de carbono é incrementado e o resultado enviado ao display de cristal líquido. Após o procedimento anterior ou caso GV não esteja acionada é verificado se GC está acionada, caso afirmativo, as interfaces de controle de abertura da válvula eletromecânica e de acionamento do ignitor são ativadas. Após as decisões anteriores é verificado se a chave que zera o contador está acionada, caso afirmativo é zerado o contador de volume e o conteúdo do display é zerado. Em seguida o processo é reiniciado, se repetindo ininterruptamente ou até que a chave *reset* seja ativada, reiniciando a rotina do microcontrolador. Após cada análise da situação das chaves utiliza-se o algoritmo de igualdade consecutiva para garantir que o sinal recebido não seja ruído.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO CIRCUITO

Neste capítulo é apresentado o circuito montado em *protoboard*, que é uma matriz de contatos, apresentando o comportamento do circuito por meio de dados obtidos no display e estado dos LEDs, objetivando comprovar que todo o sistema pode ser controlado por apenas um circuito integrado.

A Figura 5.1 apresenta a montagem da unidade de controle, demonstrando a simplicidade do circuito. Os fotoacopladores foram substituídos por LEDs identificadores.

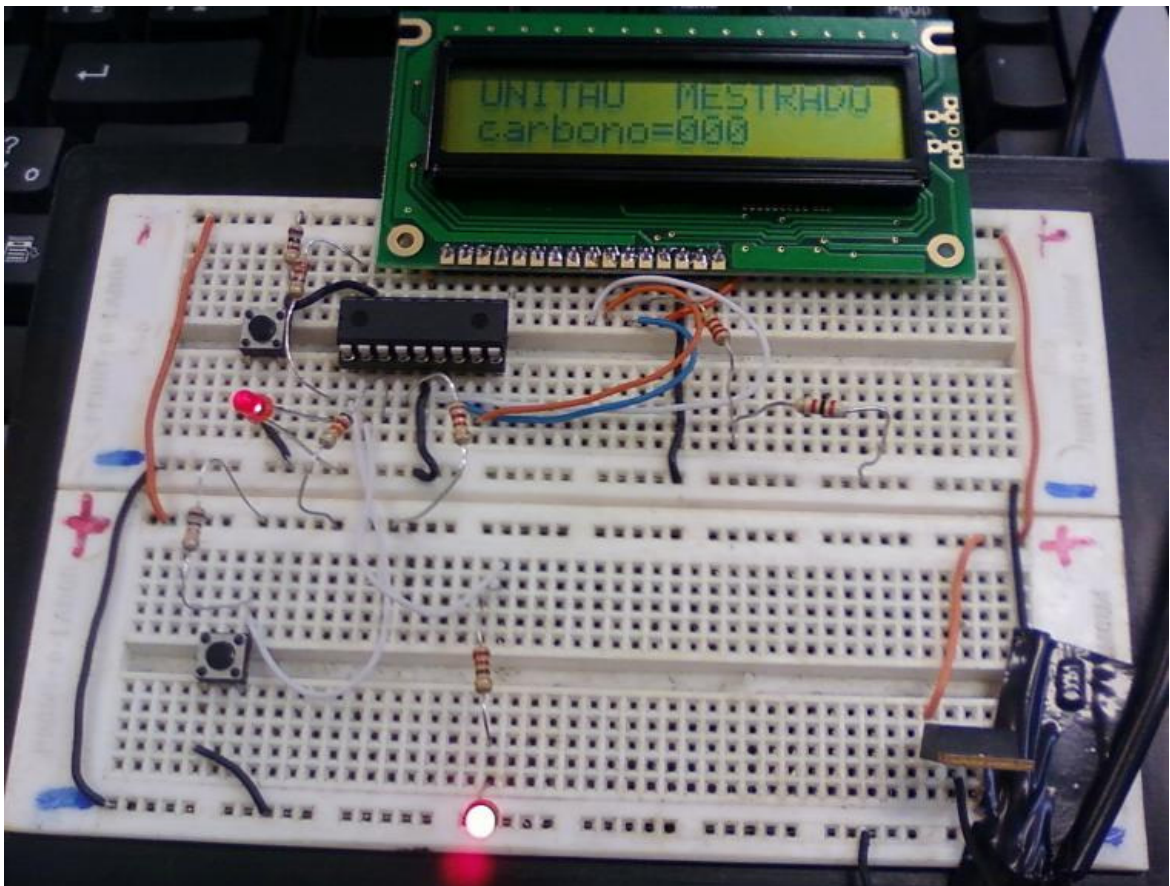


Figura 5.1 - Teste do gasômetro cheio

A Figura 5.1 simula o gasômetro cheio e o contador no início da contagem (zerado). Os dois LEDs acesos indicam ignitor ligado e válvula fechada. As chaves *push-bottom* representam os sensores GV e GC.

É observado que um dos LED brilha menos que o outro, embora ambos estejam acesos, isto ocorre porque este led indica o acionamento do ignitor que é

ativado em intervalos de 1 em 5 segundos, portanto está piscando apresentando um brilho menor.

A Figura 5.2 apresenta o display em 001 indicando a contabilização do biogás queimado.

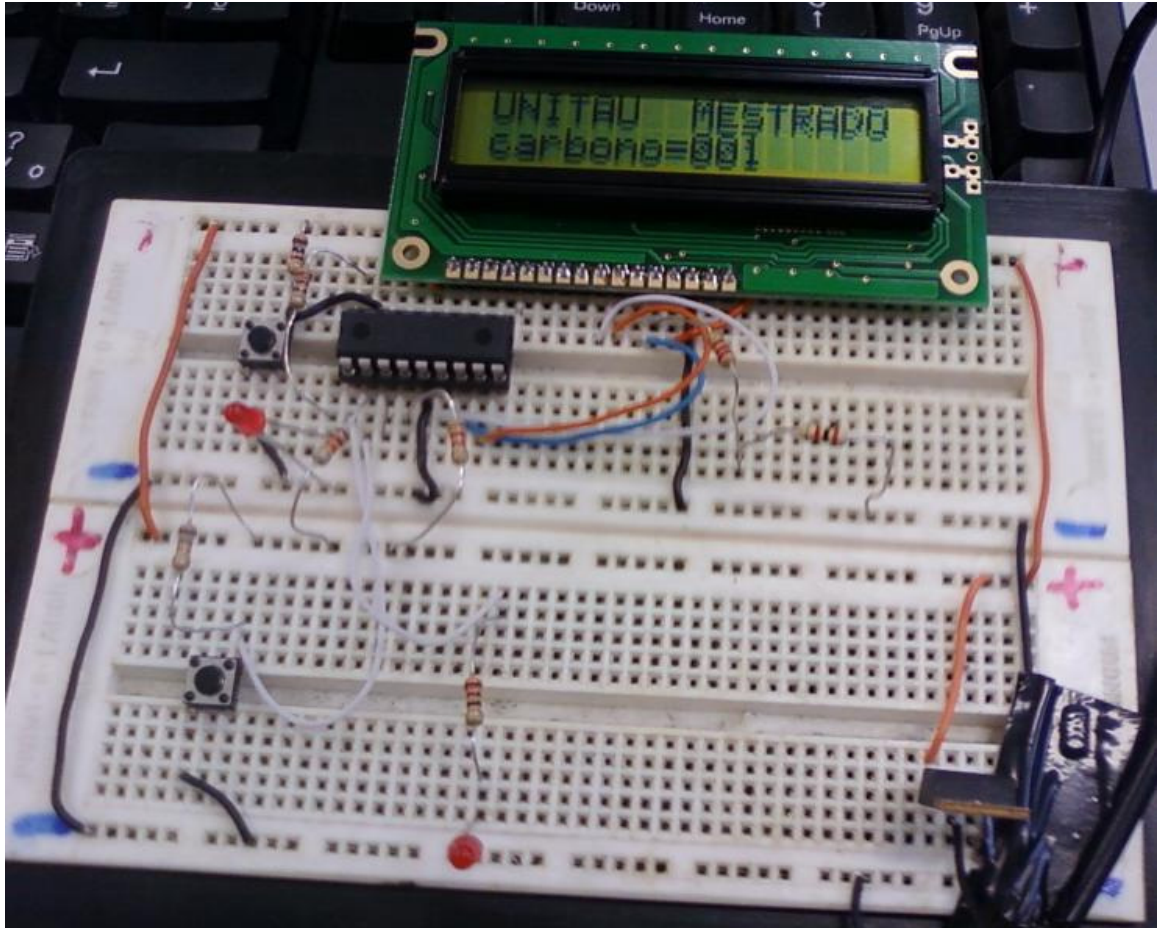


Figura 5.2 - Teste do contador iniciado

Na Figura 5.3 o display mostra 002, isto indica que o gasômetro encheu de biogás, esse foi todo queimado e o processo se reiniciou.

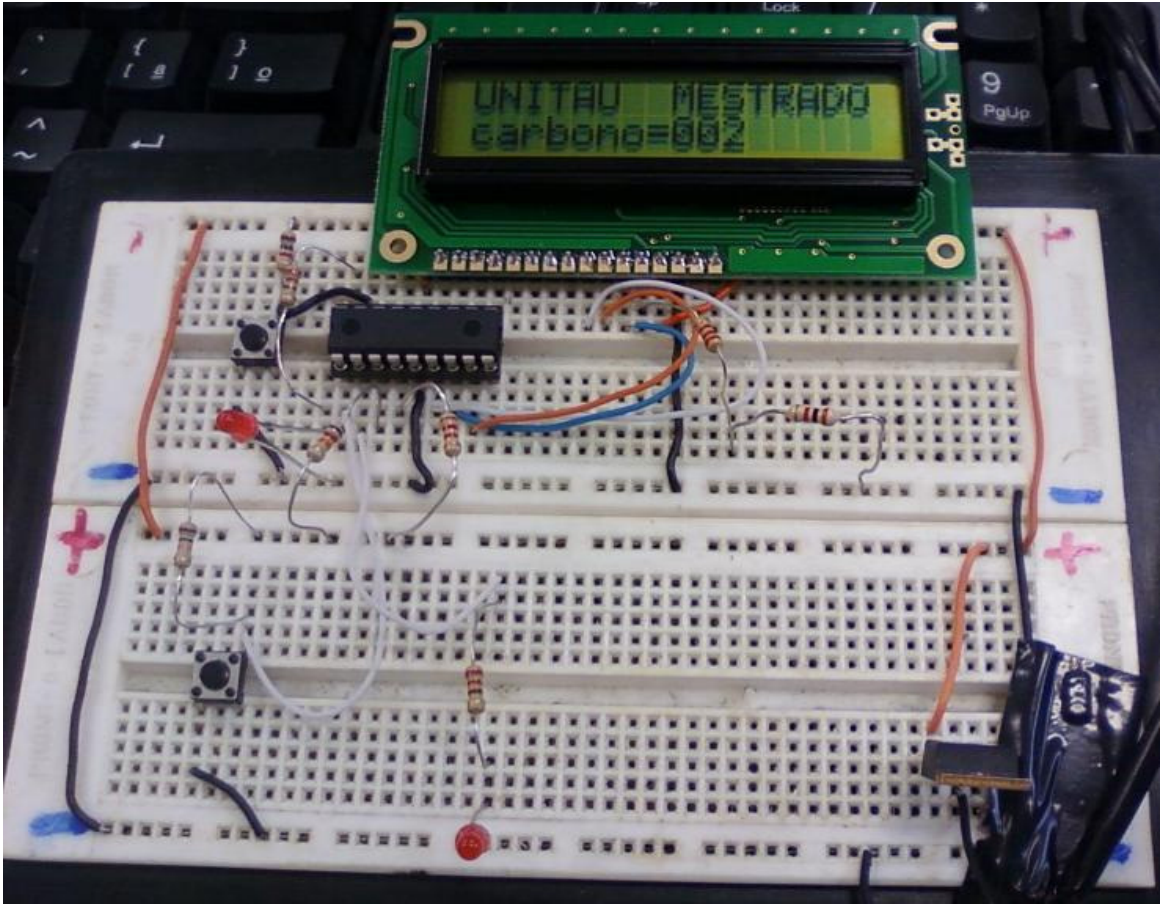


Figura 5.3 - Contador com valor incrementado

6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta a montagem do circuito de controle no simulador *Proteus*, versão 7.4.

O circuito do sistema de controle é observado na Figura 6.1. Para representar as chaves magnéticas foram utilizadas chaves do tipo push-bottom, sendo que CH1 representa GC e CH2 representa GV. Os LEDs D1 e D2 acesos foram utilizados para representar a ativação do ignitor e fechamento da válvula, respectivamente. Os fotoacopladores U2 e U3 representam as interfaces de potência que acionam o ignitor e a válvula.

O comportamento do controlador com o gasômetro cheio é demonstrado por meio das Figuras 6.2 e 6.3. Quando a chave CH1 é pressionada, os LEDs D1 e D2 acendem indicando que as interfaces de controle de acionamento do ignitor e de abertura da válvula eletromecânica são ativadas, respectivamente. O LED D1 aparece aceso na Figura 6.2, porém está alternando de estado, aceso e apagado, simulando o intervalo de acionamento do ignitor, que ocorre com duração de 1 segundo, repetindo em intervalo de 5 segundos.

Para respeitar a histerese do sistema, mesmo com a liberação da chave CH1, indicando que o gasômetro começou esvaziar, o sistema permanece inalterado até que a chave CH2 é pressionada, informando que o gasômetro está quase que totalmente vazio, e neste momento as interfaces de controle de desligamento do ignitor e de fechamento da válvula eletromecânica são ativadas. Neste instante o contador é incrementado de uma unidade, que também pode ser observado no display marcando 000, na Figura 6.2, e 001, na Figura 6.3. Os LEDs D1 e D2 permanecem apagados até o enchimento total do gasômetro quando o sensor GV é ativado novamente.

A cada repetição desse ciclo o contador vai aumentando seu valor, contabilizando a quantidade de vezes que o volume do gasômetro foi queimado, para que os créditos de carbono possam ser adquiridos. Para que isso ocorra, tanto o sistema de contabilização quanto o gasômetro, devem estar homologados nos órgãos pagadores (GODOY JÚNIOR, 2010).

Este projeto conta ainda com a chave CH3 que quando acionada reinicia o contador; isto ocorre quando a quantidade de créditos de carbono desejada é atingida e o resultado enviado ao medidor móvel homologado, então o contador é reiniciado.

Este trabalho obteve na saída a mesma resposta do sistema projetado por Marcelino & Godoy Júnior (2011), que justificou o artigo publicado por Godoy Júnior *et al.* (2012).

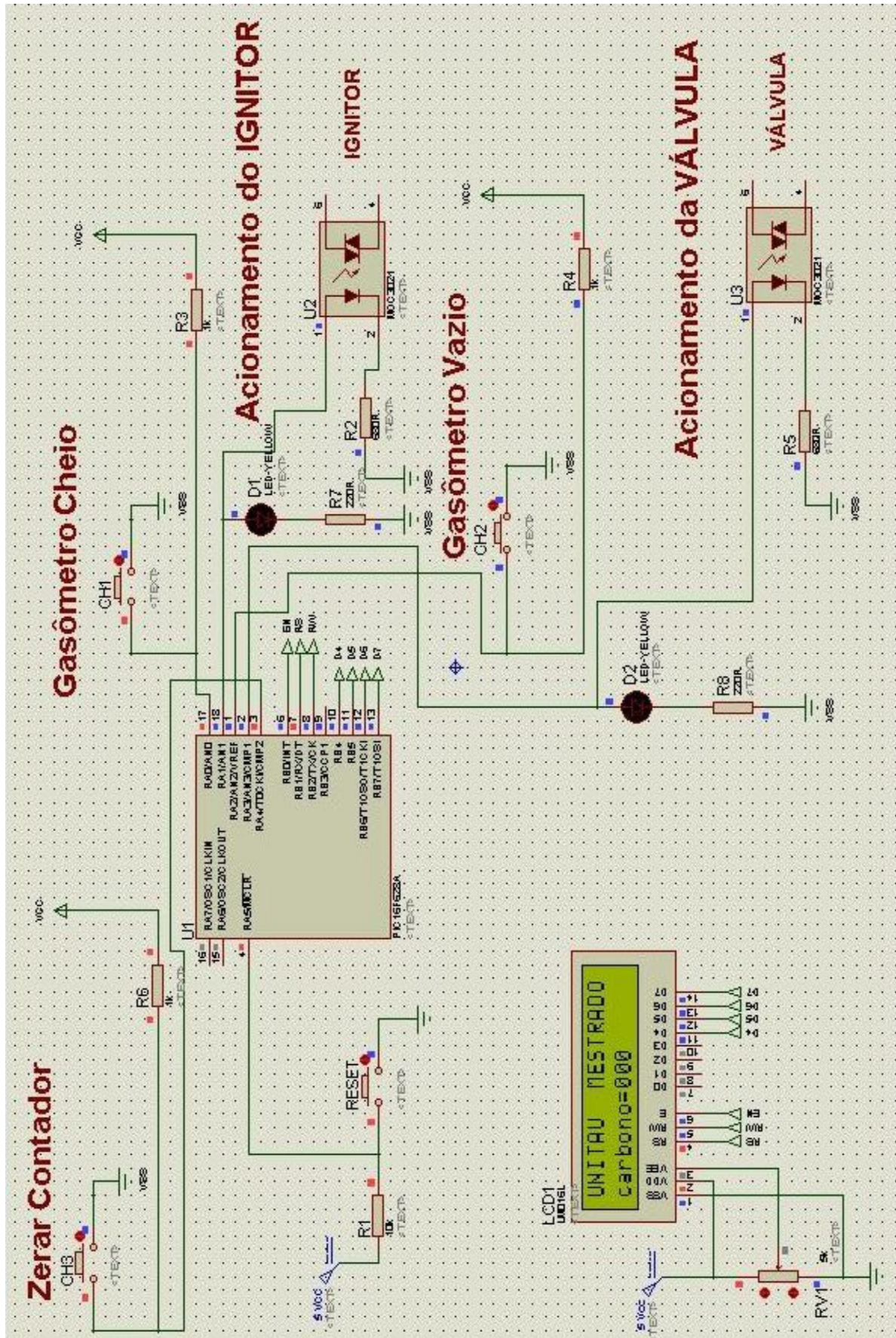


Figura 6.1 - Simulação do sistema de controle da ativação do ignitor e válvula

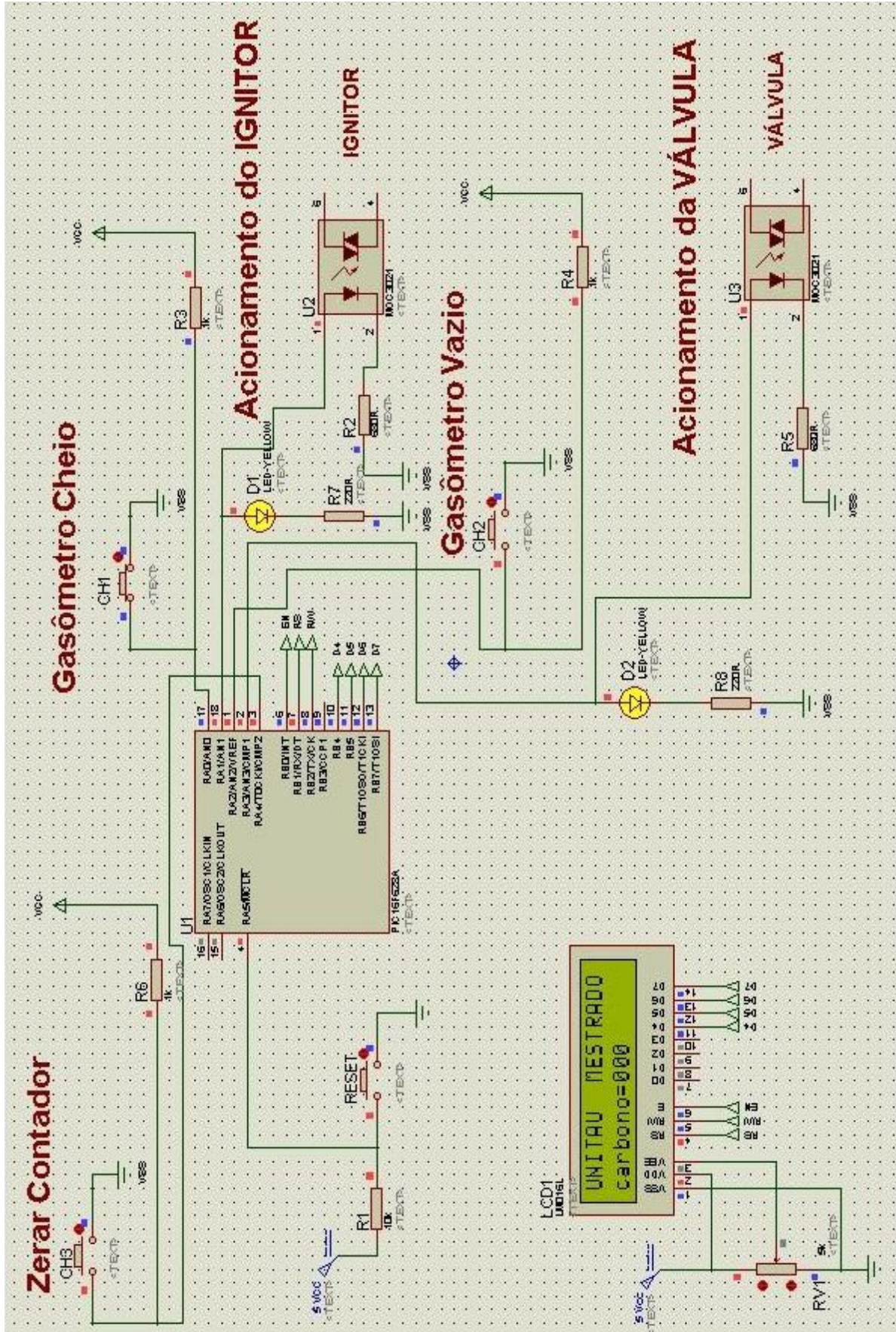


Figura 6.2 - Simulação do gasômetro cheio de biogás

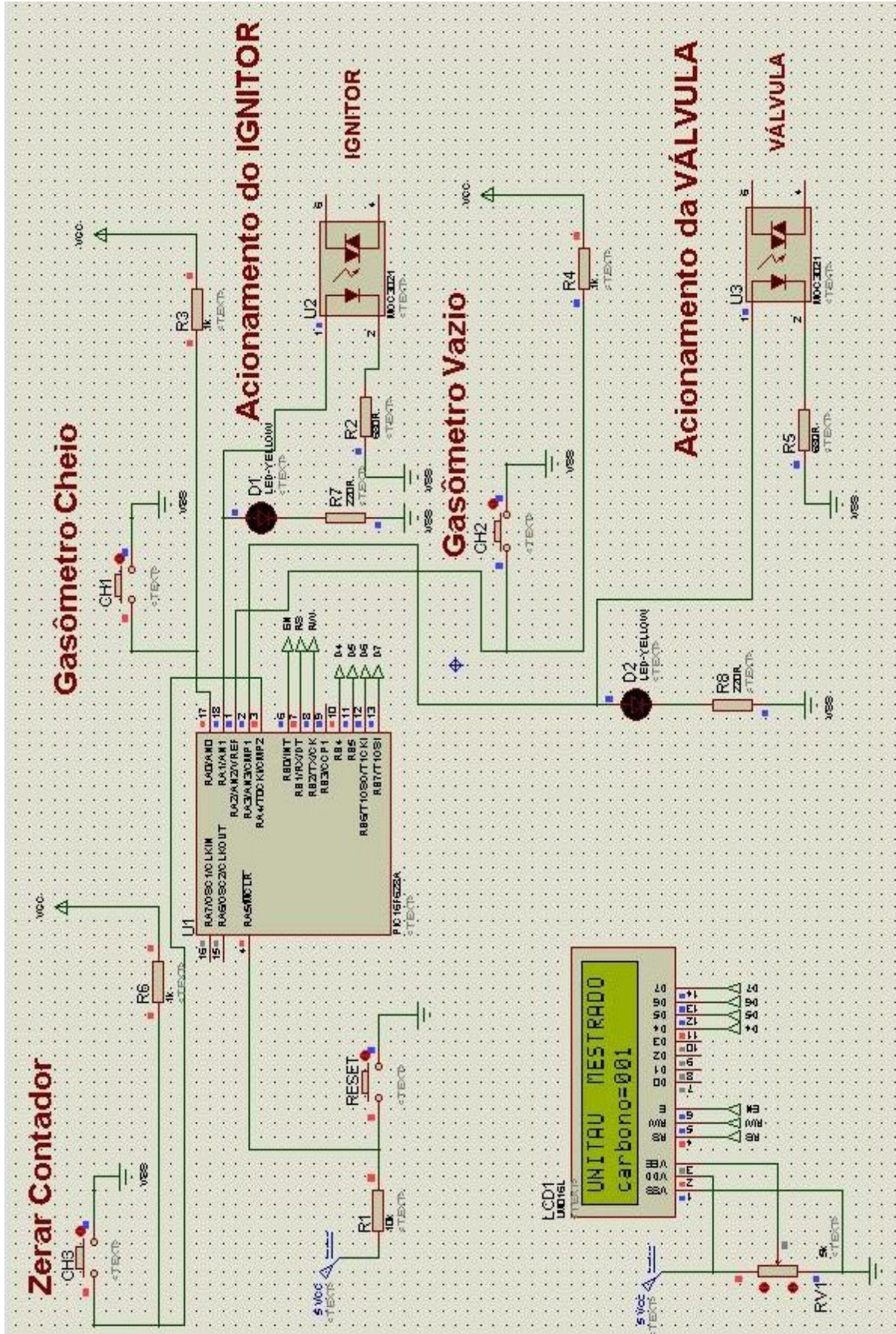


Figura 6.3 - Chave seletora alimentando as portas do microcontrolador

7 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a utilização de apenas um microcontrolador para realizar todas as funções de um sistema Queimador Registrador de Baixas Vazões de Biogás, desenvolvido com circuitos lógicos discretos, mantendo o sistema confiável e com custo ainda mais reduzido.

As funções de histerese de gasômetro cheio e vazio, bem como os controles de acionamento da válvula de biogás e do acionamento periódico do gerador de faísca foram realizadas, permitindo a contabilização do volume queimado, possibilitando a obtenção de créditos de carbono.

A proposta de instalação em miniestações de tratamento de esgoto foi reforçada, a custos ainda mais reduzidos, incentivando a utilização, contribuindo substancialmente para redução do efeito estufa.

Dentro da família do microcontrolador utilizado na fase de desenvolvimento, existem alguns mais baratos, com menor número de pinos, ou ainda, versões para montagem em superfície que minimiza substancialmente a área do produto final, e na produção do circuito em escala, reduz custo.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se a realização do protocolo de comunicação, com um microcontrolador externo, devidamente homologado pelos órgãos credores de crédito de carbono, de acordo com o protocolo de Kyoto.

Outra proposta para trabalhos futuros é substituir a chave eletromagnética que detecta gasômetro vazio por um contador de tempo, garantindo assim, sempre um volume mínimo de queima. Essa solução reduz ainda mais a montagem do sistema, não representando alteração alguma na placa de controle, além de uma nova programação.

REFERÊNCIAS

- AUDIBERT, J. L.. Avaliação qualitativa e quantitativa do biogás do aterro controlado de Londrina. 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/enges/dissertacoes/71.pdf>. Acesso em 29/03/12.
- CAMPOS, C. M. M.; Carmo, F. R.; Botelho, C. G.; Costa, C. C.. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v30n1/v30n1a20.pdf>. Acesso em 29/03/12.
- CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa: Biogás e o mercado de crédito de carbono. 2008. Disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_viii.pdf. Acesso em 20/09/12.
- CRUZ, S. R. S.. Mercado de carbono em aterros sanitários como instrumento para a inovação em serviços públicos. 2012. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/silviacruz_son_iapaulino.pdf. Acesso em 20/09/12.
- DOTTA JUNIOR, F. M.. Sistema automático de tarifação telefônica, Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil, 165p, 1981.
- GARCILASSO, V. P.. Utilização energética do biogás. 2010. Disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/workshopbiotop/biotop_vanessagarcilasso.pdf. Acesso em 15/06/12.
- 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, 150p.
- 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. AIR POLLUTION. 1ed.Southampton, Boston: WIT Press, 2012.

LEGGETT, J.. Aquecimento global – o relatório do Greenpeace. 1992. Editora da Fundação Getúlio Vargas.

LIMA, O. R.. Interfaces para controle de gasômetro para queimador registrador de baixas vazões de biogás. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Elétrica - Unitau. 2012.

MACIEL, F. J.. Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos. 2009. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp143144.pdf>. Acesso em 29/03/12.

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.

ONSEMI. Datasheet SIDAC Bidirectional Trigger MKP9V160. Disponível em: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MKP9V160-D.PDF. Acesso em 29/03/12.

PNSB 2008 - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. 2008. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf. Acesso em 29/03/12.

SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Guarulhos. Disponível em: <http://www.saaeguarulhos.sp.gov.br:8081/videos/estacao-de-tratamento-de-esgoto-SAAE-Guarulhos>. Acesso em 18/04/12.

SATO, C. E.. Viabilidade de projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) para geração de energia em aterros sanitários. 2009. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/sato.pdf. Acesso em 18/04/12.

SILVA, P. J.; PIRES, M. A. F.. A conversão dos gases de efeito estufa em créditos de carbono, e a sua negociação. 2007. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/2007/eventos/14356.pdf>. Acesso em 25/10/12.

SIMÕES, O. R.; MARCELINO, M. A.; SOUZA, A. R.; GODOY JÚNIOR, E.. Queima microcontrolada de biogás para estações de tratamento de esgoto com baixa e inconstante vazão. Revista Sodebras. Aceito para publicação. Data prevista para publicação: Jan/2013.

APÊNDICE PROGRAMA

```
#include "D:\Unitau\gas_osmar.h"

#define LCD_TYPE 1
#define use_delay(clock=4000000)
#define use_portb_lcd TRUE
#include <lcd.c>

int w=0;
int carbono=0;

void main()
{

    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_vref(FALSE);

    lcd_init();
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"UNITAU");
    delay_ms(100);
    printf(lcd_putc," MESTRADO");
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"carbono=%03d",carbono);
```

```
while(1)
{

    if (!input(PIN_A2))

        {
            delay_ms(100);
            if (!input(PIN_A2))

                {
                    w=0;
                    carbono=carbono+1;
                    delay_ms(100);

                    output_low (PIN_A3);
                    output_low (PIN_A1);

                    lcd_gotoxy(1,2);
                    printf(lcd_putc,"carbono=%03d",carbono);
                    delay_ms(100);
                }
        }

    if ( w==1 || !input(PIN_A0) )

        {
            delay_ms(100);
            if ( w==1 || !input(PIN_A0) )

                {
                    w=1;
                    output_high (PIN_A3);
                    output_high (PIN_A1);
```

```
    delay_ms(1000);
    output_low (PIN_A1);
    delay_ms(4000);
  }
}

if (!input(PIN_A4))

{
  delay_ms(100);
  if (!input(PIN_A4))

  {
    carbono=0;

    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"carbono=%03d",carbono);
    delay_ms(100);
  }
}
}
}
```