

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ELETRÔNICA
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

ANDRÉ LUIZ GORCHINSKI

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLE ELETRÔNICO DE
POTÊNCIA POR CICLOS INTEIROS EM AQUECEDORES
ELÉTRICOS DE PASSAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2012

ANDRÉ LUIZ GORCHINSKI

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLE ELETRÔNICO DE
POTÊNCIA POR CICLOS INTEIROS EM AQUECEDORES
ELÉTRICOS DE PASSAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, da Coordenação de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Mendes Casaro.

PONTA GROSSA

2012



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Diretoria de Graduação e Educação Profissional



TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLE ELETRÔNICO DE POTÊNCIA POR
CICLOS INTEIROS EM AQUECEDORES ELÉTRICOS DE PASSAGEM

por

ANDRÉ LUIZ GORCHINSKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 18 de junho de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Tecnologia em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Márcio Mendes Casaro
Professor Orientador

Prof. Gabriel de Oliveira Assunção
Membro titular

Prof. Paulo Junior Silva Costa
Membro titular

Prof. Me. Murilo Oliveira Leme
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Márcio Mendes Casaro
Coordenador do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Dedico esta conquista principalmente aos meus amados pais (Luiz Carlos Gorchinski e Otilia da Aparecida da Silva). Foram seus ensinamentos que me trouxeram até aqui, além de todo apoio, carinho e orientação dados.

A todos os professores da UTFPR que contribuíram para que eu terminasse com sucesso esta caminhada, mas em especial ao Professor Márcio Mendes Casaro pela sabedoria com que me guiou, onde esteve sempre disposto para que conseguíssemos chegar ao melhor resultado.

Aos amigos que fiz ao longo desta caminhada, aqueles que me escutaram, com quem troquei experiências e me diverti muito.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha esposa (Aline da Silveira Freitas), que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, pois acredito que sem o seu apoio e auxílio, seria muito difícil vencer esse desafio.

Quero agradecer também ao meu filho (Eduardo Freitas Gorchinski), que embora não tivesse conhecimento disto, iluminou de maneira especial os meus pensamentos, levando-me a buscar mais conhecimentos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

GORCHINSKI, André Luiz. **Desenvolvimento de um controle eletrônico de potência por ciclos inteiros em aquecedores elétricos de passagem.** 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito eletrônico de controle de potência para aquecedores de passagem, utilizados em duchas ou chuveiros. Propõe um circuito eletrônico de controle que aplicará ciclos inteiros da rede, ao invés de senóides distorcidas, minimizando assim o conteúdo harmônico injetado na rede. Explica a importância da eficiência energética nos dias atuais. Explica que baixos fatores de potência e alto conteúdo harmônico contribuem para uma menor eficiência dos equipamentos. Expõe normas relacionadas ao limite aceitável para harmônicas e também para a cintilação luminosa. Estuda as formas de controle de potência com seus prós e contras. Desenvolve um controle por ciclos inteiros utilizando um microcontrolador para controle de um tiristor. Analisa a cintilação luminosa provocada. Conclui apresentando uma proposta para o controle de potência utilizando a técnica de ciclos inteiros.

Palavras-chave: Controle de potência. Aquecedores de passagem. Controle por ciclos inteiros. Harmônicas. Cintilação luminosa.

ABSTRACT

GORCHINSKI, André Luiz. **Development of an electronic power control for electric heaters in whole cycles of passage.** 55 f. Completion of coursework (Technology in Industrial Automation) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2012.

This paper presents the development of an electronic control circuit power for heaters in passing, used in showers. Proposes an electronic control circuit that applies whole cycles of the grid, rather than distorted sinusoids, thus minimizing the harmonic content injected into the grid. Explains the importance of energy efficiency today. Explains that low power factor and high harmonic content contribute to a lower efficiency of the equipment. Sets out rules relating to acceptable limits for harmonic sand for the flicker of light. Examines power control methods, with their pros and cons. Develop a whole cycle control by using a microcontroller to drive a thyristor. It analyzes the flickering light caused. Concludes presenting a proposal for the power control using the technique of whole cycles.

Keywords: Power control. Heaters passage. Whole cycle control. Harmonics. Scintillation light.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curva de cintilação, que relaciona a queda de tensão percentual e a frequência de oscilação.....	19
Figura 2 - SCR	20
Figura 3 - TRIAC	21
Figura 4 - Controle eletrônico de potência por ângulo de fase com ângulo de disparo em 90°	22
Figura 5 - Harmônicas de corrente.....	23
Figura 6 - Controle por ciclos inteiros com 50% da potência aplicada	24
Figura 7 - Circuito de potência para análise da cintilação luminosa.....	26
Figura 8 - Nenhum ciclo, 0% de potência.....	27
Figura 9 – Aplicação de um ciclo de dois possíveis	27
Figura 10 – Todos os ciclos aplicados, 100% de potência.....	28
Figura 11 - Aplicação de um ciclo de cinco possíveis	28
Figura 12 - Aplicação de dois ciclos de cinco possíveis	29
Figura 13 - Aplicação de três ciclos de cinco possíveis	29
Figura 14 - Aplicação de quatro ciclos de cinco possíveis	29
Figura 15 – Combinação resultante de dois elementos aquecedores.....	30
Figura 16 - Circuito de potência	31
Figura 17 – Seletor de potência	32
Figura 18 - Sincronismo	32
Figura 19 – Amplificador para os pulsos	33
Figura 20 – Microcontrolador PIC 16F628A.....	34
Figura 21 – Fluxograma da programação	35
Figura 22 – Simulação do sincronismo com a tensão da rede.....	36
Figura 23 – Simulação dos pulsos com o sincronismo para aplicar dois de cinco ciclos	37
Figura 24 - Simulação dos pulsos com o sincronismo para aplicar um de dois ciclos.....	37
Figura 25 - Simulação da tensão na carga aplicando dois de cinco ciclos.....	38
Figura 26 - Simulação da tensão na carga aplicando um de dois ciclos	38
Figura 27 - Bancada do Laboratório de Eletrônica de Potência	39
Figura 28 – Sincronismo do circuito no osciloscópio.....	39

Figura 29 - Pulsos com o sincronismo para aplicar dois de cinco ciclos	40
Figura 30 - Pulsos com o sincronismo para aplicar quatro de cinco ciclos	40
Figura 31 - Tensão na carga aplicando um de cinco ciclos.....	41
Figura 32 - Tensão na carga aplicando três de cinco ciclos.....	41
Figura 33 - Tensão na carga aplicando um de dois ciclos	42
Figura 34 – Bancada de teste para análise do <i>flicker</i>	43
Figura 35 – Diferença entre a tensão de pico com a carga ligada e desligada	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre a distorção de corrente e o acréscimo no fator de potência	17
Tabela 2- Limites de corrente para harmônicas	18
Tabela 3 - Relação entre frequência de trabalho e ciclos que formam o período	26

LISTA DE SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
FP	Fator de Potência
IEC	International Electrotechnical Commission
SCR	Silicium Controller Retifier
TDD	Total Demand Distortion
THD	Total Harmonic Distortion

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
TRIAC	Triode AC Switch

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA	10
1.1.1 Delimitação do Tema	10
1.2 PROBLEMA	11
1.3 HIPÓTESE / PREMISA	11
1.4 OBJETIVOS.....	11
1.4.1 Objetivo Geral.....	11
1.4.2 Objetivos Específicos.....	11
1.5 JUSTIFICATIVA.....	12
1.6 MÉTODO DA PESQUISA.....	12
2 DESENVOLVIMENTO	13
2.1 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1.1 Eficiência Energética.....	13
2.1.2 Qualidade da Energia Elétrica.....	14
2.1.3 Harmônicas.....	15
2.1.4 Influência das Harmônicas no Fator de Potência.....	16
2.1.5 Cintilação luminosa ou efeito <i>flicker</i>	17
2.1.6 Normas	18
2.1.7 Métodos De Controle De Potência.....	20
2.2 METODOLOGIA E RESULTADOS.....	25
2.2.1 Desenvolvimento e Construção do Circuito.....	31
2.2.2 Lógica de Programação.....	34
2.2.3 Simulações e Comparações.....	36
2.2.4 Montagem e Testes	38
3 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE A - Esquema do circuito.....	48
APÊNDICE B - Lista de componentes	50
APÊNDICE C - Algoritmo de programação.....	52

1 INTRODUÇÃO

O controle de potência em aquecedores elétricos de passagem é um item que acompanha o desenvolvimento desses equipamentos ao longo de sua história. O controle mais usual, desde seu início, é a variação da vazão de água para o ajuste da temperatura.

O controle de potência é obtido através de componentes eletrônicos, sendo o mais comum, o controle por ângulo de fase que injeta indesejáveis componentes harmônicos de corrente nas redes de energia elétrica. Uma alternativa para eliminar esse inconveniente é implementar o controle por ciclos inteiros, que por sua vez resolve o problema de componentes harmônicos, porém traz consigo outra dificuldade para o desenvolvimento do projeto, o Efeito *Flicker* ou cintilação luminosa. Segundo Junior (2006), o Efeito *Flicker* é provocado pela flutuação da tensão na rede, quando a modulação da corrente é feita a baixas frequências.

A proposta desse trabalho é apresentar o desenvolvimento de um circuito de controle eletrônico de potência, capaz de eliminar os componentes harmônicos e a interferência eletromagnética usando o método de controle por ciclos inteiros. Assim como, a cintilação luminosa provocada pelo circuito seja imperceptível aos seres humanos.

1.1 TEMA

Desenvolvimento de um controle eletrônico de potência por ciclos inteiros.

1.1.1 Delimitação do Tema

O desenvolvimento do controle de potência aplicado a aquecedores elétricos de passagem. Utilizando o método de controle por ciclos inteiros, de modo eficiente e otimizado.

1.2 PROBLEMA

Equipamentos elétricos modernos de aquecimento de água de passagem encontrados no mercado são confeccionados com o controle de potência por ângulo de fase. Esse controle gera problemas de distorção harmônica de corrente nas redes de energia elétrica, injetando componentes harmônicos superiores a sua fundamental. A filtragem desses componentes se torna difícil considerando o elevado nível de potência envolvido.

1.3 HIPÓTESE / PREMISSA

Acredita-se que um controle mais eficiente de potência possa minimizar os efeitos dos componentes harmônicos injetados na rede melhorando a qualidade da energia elétrica e as interferências causadas em aparelhos eletroeletrônicos por esses componentes harmônicos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um controle de potência para aquecedores elétricos de passagem utilizando o método de ciclos inteiros.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar sobre métodos de controle de potência;
- Pesquisar sobre controle por ciclos inteiros;
- Pesquisar normas internacionais referentes ao Efeito *Flicker*;
- Pesquisar normas internacionais referentes aos componentes harmônicos;
- Pesquisar um micro controlador adequado para o circuito de controle;
- Desenvolver o circuito de controle e de potência;

- Programar o micro controlador, que irá atuar sobre o circuito de controle;
- Verificar o funcionamento através de testes e medições.

1.5 JUSTIFICATIVA

Utilizando a técnica de controle por ciclos inteiros elimina-se as harmônicas de corrente da rede, principalmente as ímpares (3^a, 5^a, 7^a, 9^a...), tendo um fator de potência unitário.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

O método de pesquisa adotado é de caráter avaliativo, descritivo. Atuando no campo da eletrônica de potência e controle de processos.

Serão utilizados como fonte de pesquisa os laboratórios da universidade, a biblioteca, a internet, *datasheets* de fabricantes, manuais em geral, os conhecimentos adquiridos durante o curso e tudo o que for indispensável para o enriquecimento do projeto.

O desenvolvimento do projeto do circuito será feito nos laboratórios da Universidade, com base nas pesquisas realizadas sobre o tema e também com simulações feitas em *softwares* para verificar parâmetros como formas de onda, níveis de potência, conteúdo harmônico e fator de potência.

Com o desenvolvimento das pesquisas e do projeto, será feito um fluxograma para programar o microcontrolador de forma a atender as características do processo, do circuito e dos componentes eletrônicos utilizados.

A validação do funcionamento do circuito realizar-se-á através de testes com o osciloscópio e posteriormente será testado no processo de aquecimento da água.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção aborda teorias relacionadas ao tema do projeto.

2.1.1 Eficiência Energética

O controle de potência está intrínseco a eficiência energética. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO) a eficiência energética é uma atividade técnico-econômica que objetiva proporcionar o melhor consumo de energia e água, minimizando contingenciamentos no suprimento desses insumos e introduzindo elementos e instrumentos necessários para o gerenciamento energético e hídrico.

Considerando que o crescimento econômico brasileiro esbarra na disponibilidade de geração de sua matriz energética, limitada por restrições de ordem financeira e ambientais. Com o crescimento global das demandas energéticas e uma disponibilidade restrita de recursos naturais, um cenário de prosperidade econômica está cada vez mais atrelado a investimentos em eficiência energética (Braga, 2007).

De tal modo que o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), criado em 1985, pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, propõe-se a “promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais” (PROCEL, 2007).

Segundo dados do PROCEL as edificações existentes nos setores: residencial, público e comercial são responsáveis por aproximadamente 48% do consumo de energia elétrica no Brasil. O potencial de redução deste consumo com a adoção de medidas de eficiência energética pode chegar a 30%, nas edificações existentes, e a 50%, nas novas edificações (PROCEL, 2007).

A Lei de Eficiência Energética Brasileira – como é conhecida a Lei nº 10.295 – determina o estabelecimento de “níveis máximos de consumo

específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país” (PROCEL, 2007).

A promoção da eficiência energética estudada é baseada na substituição tecnológica dos equipamentos consumidores de eletricidade existentes.

O selo PROCEL- certificação concedida anualmente, desde 1994, aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro de sua categoria - tem o propósito de estimular a fabricação de produtos mais eficientes em termos energéticos, bem como o de orientar o consumidor a adquirir equipamentos que apresentam melhores níveis de eficiência energética. As categorias são classificadas em níveis de eficiência, que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

2.1.2 Qualidade da Energia Elétrica

Diretamente ligada à eficiência energética está a qualidade da energia elétrica da rede. O termo qualidade da energia elétrica está relacionado com um conjunto de alterações, manifestadas por desvios de tensão, corrente ou frequência, que resultem em falha ou operação inadequada de um equipamento elétrico.

Atualmente tornou-se comum a existência de cargas eletrônicas, tais como fornos de microondas, computadores e periféricos, diversos aparelhos de TV e de áudio, em uma gama vasta de eletrodomésticos que está cada dia mais presente em nossas vidas, lado a lado com as cargas elétricas, outrora comandadas sem o recurso da eletrônica.

Segundo Mehl (2012), as cargas elétricas comandadas eletronicamente possuem uma característica intrínseca que é a não linearidade das mesmas, ou seja, não requerem a corrente elétrica constantemente, mas solicitam apenas picos de energia em determinados momentos. Dependendo da topologia do conversor eletrônico empregado, a corrente de entrada é disparada em determinado período ou ângulo da oscilação senoidal. Com isto, as cargas eletrônicas acabam por distorcer a forma de onda (tensão e/ou

corrente) que lhe é entregue e como consequência gerando uma "poluição" na rede de energia elétrica. Esta poluição é traduzida por diversos tipos de problemas ou distúrbios.

Dentro dos distúrbios referentes às oscilações de tensão, têm-se os distúrbios tipo impulso, oscilações transitórias, variações no valor eficaz (de curta ou longa duração), desequilíbrio de tensão e distorções na forma de onda. Estes distúrbios representam desvios em regime da forma de onda, em relação à onda teórica puramente senoidal, na frequência fundamental são caracterizados principalmente pelo seu conteúdo espectral. Existem cinco tipos principais de distorções da forma de onda: harmônicos, Inter-harmônicos, nível de corrente contínua, *notching* e ruídos (Mehl, 2012).

2.1.3 Harmônicas

Harmônicas são ondas senoidais de frequências múltiplas inteiras a uma frequência de referência, chamada fundamental. No caso do sistema elétrico brasileiro, a fundamental é a frequência padrão 60 Hz tendo como 2º harmônica uma onda senoidal de 120 Hz, 3º harmônica uma onda senoidal de 180 Hz e assim por diante. As Harmônicas são uma forma matemática de analisar a distorção de uma forma de onda, seja ela de tensão ou de corrente. Esta análise é feita através da decomposição de uma onda utilizando a série de Fourier (Pires, 2006).

Os inter-harmônicos (harmônicos não múltiplos de 60 Hz) costumam originar-se em cargas com formas de corrente não periódicas em 60 Hz como por exemplo, cicloconvertidores e fornos a arco. Os harmônicos são originados por cargas eletrônicas que consomem correntes periódicas não senoidais, por exemplo, um retificador trifásico de onda completa a diodos (Mehl, 2012).

As distorções harmônicas são um tipo específico de energia "suja" (poluída ou contaminada) que, diferentemente dos transientes de corrente e tensão, estão presentes de forma contínua, associadas ao crescente número de acionamentos estáticos como inversores de frequência, variadores de velocidade, fontes chaveadas e outros dispositivos eletrônicos de acionamento como lâmpadas eletrônicas, por exemplo (Deckmann e Pomilio, 2010).

O índice utilizado para contabilizar a quantidade de harmônicos presentes numa onda, ou em outras palavras, quão distorcido uma onda está em relação a uma onda senoidal é o THD (*Total Harmonic Distortion*). Para uma onda puramente senoidal, livre de distorções, o THD é de 0%. Já para algumas ondas muito distorcidas, como correntes de alguns aparelhos eletrônicos, o THD pode chegar a 100% (Deckmann e Pomilio, 2010).

2.1.4 Influência das Harmônicas no Fator de Potência

Para uma eficiente transmissão de energia da fonte para a carga, é desejável maximizar a potência média e minimizar os valores eficazes decorrente, portanto minimizando as perdas (Canesin, 2012).

De acordo com Canesin (2012), o fator de potência (FP) é uma figura de mérito que avalia quão eficiente é a transmissão da energia. Ele é definido como:

$$\text{Fator de Potência} = \text{Potência Média} / (\text{Tensão eficaz} * \text{Corrente eficaz})$$

A presença da energia e/ou potência reativas faz com que o transporte de potência ativa demande maior capacidade do sistema de transporte pelo qual ela flui. Por este motivo, a responsabilidade de um cliente marginal nos investimentos destinados à expansão da rede será tanto maior quanto mais elevada for sua potência reativa ou, de modo equivalente, quanto menor for seu fator de potência. Muitas cargas tradicionais, como é o caso dos motores elétricos, têm um princípio de operação que exige um consumo de potência reativa. Assim, parece adequado que o regulador admita certa tolerância para o fator de potência das unidades consumidoras. O valor desta tolerância é expresso através do chamado fator de potência de referência, que está hoje fixado no valor de 0,92, o que equivale a permitir ao cliente um consumo de 0,426 kvarh por kWh de energia que absorve (ANEL 2005).

Segundo Pomilio (2006) hoje em dia a proliferação de cargas não lineares e/ou não balanceadas, assim como de cargas com dispositivos chaveados de eletrônica de potência, determina um aprimoramento das

disposições contidas nas regulamentações vigentes. Tal melhoria encontra sustentação na tecnologia de amostragem digital hoje disponível no mercado brasileiro, o qual dispõe de instrumentos de medição que permitem incorporar conceitos de potência e fator de potência mais atual.

Gama (2007) apresenta a relação entre a distorção de corrente e o acréscimo na corrente e decréscimo no fator de potência, tendo como base uma corrente fundamental de 1ª, conforme Tabela 1. Foi acrescentado harmônicos que chegavam a uma certa distorção de corrente, tendo por consequência um acréscimo de corrente no valor eficaz e uma diminuição no fator de potência.

Tabela 1 - Relação entre a distorção de corrente e o acréscimo no fator de potência

Distorção de corrente THD	Acréscimo de corrente (%)	Fator de potência total
0	0,00	1
10	0,50	0,995
30	4,40	0,958
50	11,80	0,894
70	22,07	0,819
90	34,54	0,743
100	41,42	0,707
120	56,20	0,640
150	80,28	0,555

Fonte: JÚNIOR (2006)

2.1.5 Cintilação luminosa ou efeito *flicker*

O fenômeno de cintilação luminosa ou efeito *flicker* é basicamente constatado através da impressão visual resultante das variações do fluxo luminoso de lâmpadas, principalmente as do tipo incandescentes. Entre as causas do fenômeno são citadas cargas com ciclo variável, cuja frequência de operação produz uma modulação da magnitude da tensão da rede na faixa de 0 até 30 Hz. Nessa faixa de frequências, o olho humano é sensível às variações da emissão luminosa das lâmpadas, sendo que a máxima sensibilidade do olho é em torno de 10 Hz (Mehl, 2012).

2.1.6 Normas

A portaria 1.569/93 do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e a estabelecida Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), define o limite mínimo para o fator de potência em 0,92 das unidades consumidoras alimentadas em baixa tensão, regulamentando o faturamento de reativos excedentes. Nesta regulamentação não há nenhuma referência quanto a limites de distorção harmônica.

A IEC (*International Electrotechnical Commission*) é uma entidade internacional, mas com abrangência essencialmente européia, que gera recomendações técnicas na área de eletricidade. Com a aprovação da comunidade européia ou países individualmente.

Para controlar a poluição harmônica na rede normas técnicas foram estabelecidas de maneira a limitar a emissão de harmônicas. As normas IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-4 tratam de equipamentos de baixa tensão para correntes inferiores a 16A e acima de 16A respectivamente.

Considerando a IEC 61000-3-4, a referente norma analisada neste, para equipamentos com correntes acima de 16A e abaixo de 75A por fase, a norma IEC fixa os limites de correntes harmônicas para estes equipamentos, cujos limites estão na Tabela 2, considerando o percentual da máxima corrente em relação à fundamental.

Tabela 2- Limites de corrente para harmônicas

Ordem Harmônica (h)	Máxima corrente (%)	Ordem Harmônica (h)	Máxima corrente (%)
3	21,6	19	1,1
5	10,7	21	0,6
7	7,2	23	0,9
9	3,8	25	0,8
11	3,1	27	0,6
13	2,0	29	0,7
15	0,7	31	0,7
17	1,2	33	0,6

Fonte: POMILIO (2011)

Segundo Pires (2006) a norma IEEE 519/1992 define limites de distorção de corrente em um ponto do sistema elétrico conforme sua corrente de curto-circuito e níveis de tensão. Há um termo utilizado nesta norma que é

oTDD (*Total Demand Distortion*). Sendo TDD equivalente THD na situação em que a fundamental da tensão ou corrente estivessem em seus valores nominais de demanda.

A Norma IEC-61000-3-3 define, a flutuação de tensão como “uma série de variações da tensão eficaz da rede avaliada como um valor único em cada semiciclo sucessivo entre as passagens por zero da tensão da rede”. Na Figura 1, transcrita da norma IEC-61000-3-3, observa-se que a máxima frequência capaz de causar irritação da visão humana a variações de luminosidade é maior que 3000 variações por minuto, mais especificamente 3600 variações por minuto, numa condição de até 2% de queda de tensão, o que equivale a dizer que, conforme a IEC 61000-3-3, esse limite é de 30Hz.

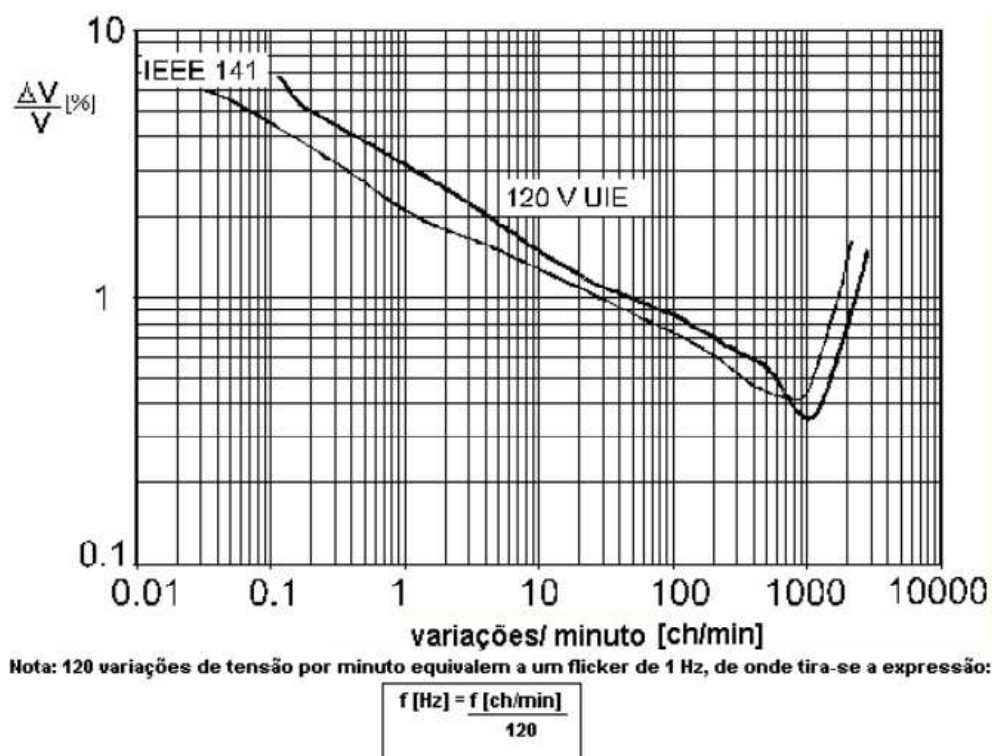


Figura 1- Curva de cintilação, que relaciona a queda de tensão percentual e a frequência de oscilação
Fonte: JÚNIOR (2006)

2.1.7 Métodos de Controle de Potência

Dentre os métodos de controle de potência estão os gradadores. Segundo Barbi (2000), gradadores são conversores estáticos destinados a variar o valor da tensão eficaz de uma tensão alternada. Caracterizam-se por colocarem a carga em contato direto com a fonte, sem tratamento intermediário de energia. Podem ser usados para controle de intensidade luminosa, controle de temperatura, controle de velocidade e de motores de indução.

Os tiristores são componentes eletrônicos cujo princípio de funcionamento é baseado em uma ação regenerativa. Os dois tipos principais de tiristoreso SCR (*Silicium Controller Retifier*) e o TRIAC(*Triode AC switch*) (Luqueta, 2012).

O SCR, retificador controlado de silício, é o que consegue dissipar grandes quantidades de calor, sendo utilizado em controles de máquinas de transmissão em CC (corrente contínua), entre outros. Como o próprio nome do componente sugere, ele nada mais é que um diodo retificador controlado externamente (Luqueta, 2012).

O SCR (Figura 2) permanece bloqueado enquanto não recebe um nível de tensão positivo no *gate*. Após recebido um impulso de disparo ele conduz corrente do anodo para o catodo. A condução do SCR só pode ser interrompida se a corrente que passa por ele for menos que a corrente de manutenção (Luqueta, 2012).

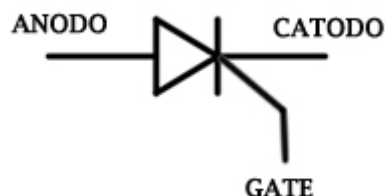


Figura 2- SCR
Fonte: O autor

O TRIAC nada mais é do que um componente construído por dois SCRs colocados em anti-paralelo (Figura 3). O TRIAC é um componente muito

utilizado no controle de dispositivos de CA (corrente alternada), visto sua configuração que, diferentemente do SCR (que conduz em um único sentido), é bidirecional (Luqueta, 2012).

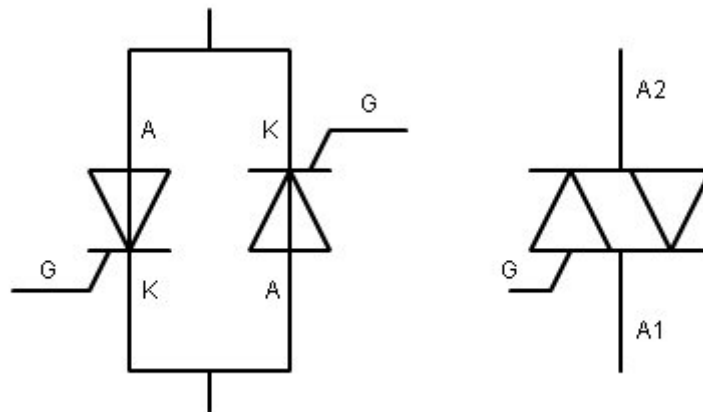


Figura 3- TRIAC
Fonte: O autor

Considerando um acionamento utilizando tiristores, há 3 categorias de circuitos de controle para aquecimento elétrico: tem-se controle *on-off*, controle de fase e controle usando chaveamento síncrono de ciclos inteiros.

O controle *on-off* consiste simplesmente em ligar e desligar a alimentação do elemento aquecedor (em geral uma resistência) sem se importar com o instante de chaveamento (UNICAMP, 2012).

O intervalo de condução e também o de bloqueio do interruptor é tipicamente de vários segundos, o que significa que a carga fica alimentada por um intervalo de tempo correspondente a diversos ciclos da rede. Normalmente a ação de comutação entre os estados ligado e desligado é realizada por meio de um termostato bimetálico que conecta ou desliga a alimentação do elemento de aquecimento. A precisão da regulação depende, essencialmente, da histerese típica do elemento bimetálico. A comutação determinada por este elemento sensor não guarda nenhuma relação com os cruzamentos com o zero da tensão da rede (UNICAMP, 2012).

Contudo o gradador com controle por ângulo de fase varia o ângulo de disparo do semicondutor para controlar a potência na carga, o disparo pode ser feito para qualquer valor de tensão. As harmônicas de corrente de carga são

introduzidas na rede, sendo que as de alta frequência produzem perturbações radioelétricas inaceitáveis (Barbi, 2000).

No controle de fase, o desligamento do tiristor ocorre sempre sob corrente nula, mas a entrada em condução se dá a qualquer momento determinado pelo circuito de comando. Durante cada semiciclo da rede é feito o controle. Assim, é possível, com este tipo de controle, uma precisão maior e uma variação contínua na regulação da temperatura (UNICAMP, 2012).

O controle eletrônico de potência por ângulo de fase consiste em inserir um semicondutor de potência em série com a resistência elétrica, que será comandado por pulsos no *gate* vindos de um circuito eletrônico. O ajuste de potência é feito pelo usuário através de um potenciômetro que, juntamente com outros resistores e capacitores, forma o circuito de tempo, o qual gera um atraso no disparo do semicondutor de potência. Assim controla a forma de onda de corrente fornecida a resistência elétrica e, conseqüentemente, a potência dissipada e a temperatura da água (Júnior, 2006). A Figura 4 ilustra a forma de onda da corrente no controle por ângulo de fase.

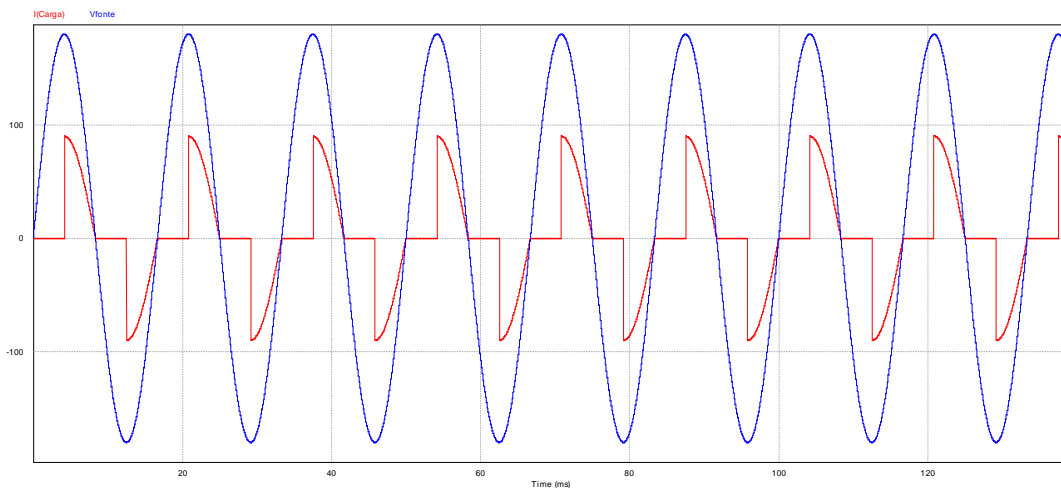


Figura 4- Controle eletrônico de potência por ângulo de fase com ângulo de disparo em 90°

Fonte: O autor

De acordo com Pires (2006) o problema desse tipo de controle é a geração de componentes harmônicos (Figura 5) através da distorção da forma de onda, que causa problemas em instalações e equipamentos, entre os quais podem ser citados:

- Redução da vida útil de transformadores e funcionamento inadequado de motores;
- Perdas nos condutores das instalações;
- Interferência irradiada em redes de comunicações;
- Disparo intempestivo de disjuntores;
- Corrente excessiva no condutor neutro de instalações elétricas, além de outras.

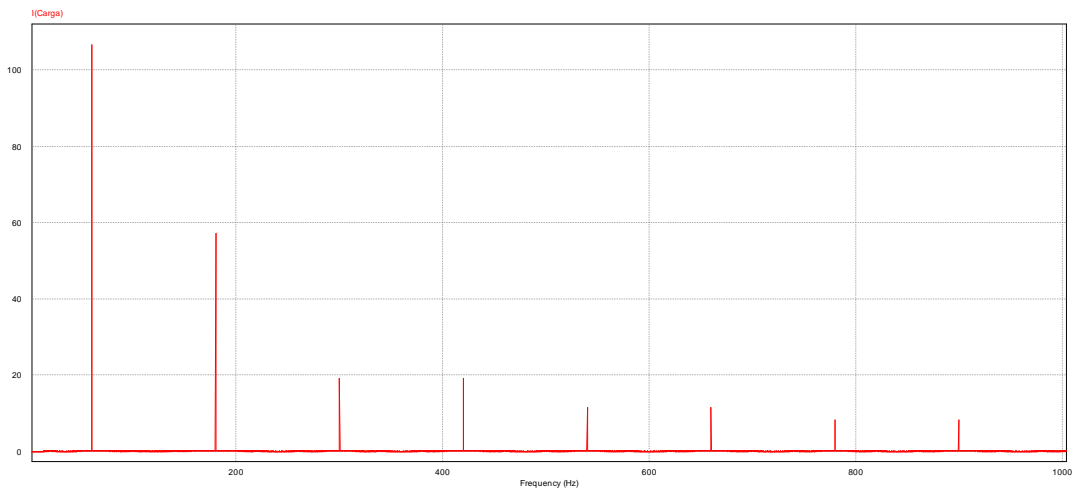


Figura 5- Harmônicas de corrente
Fonte: O autor

Segundo Júnior (2006), o controle de potência por ângulo de fase é o mais usado atualmente pelos fabricantes de aquecedores elétricos de passagem e, em função disso, existem variações e melhorias inseridas nesses equipamentos, entre as quais podemos destacar:

- O controle eletrônico por ângulo de fase com malha fechada – possui teclado para inserção, pelo usuário, da temperatura final desejada e medidores de temperatura da água na entrada e na saída do aparelho, os quais informam essas medidas ao controlador eletrônico, que ajusta a potência necessária para atingir o nível desejado.
- Controle eletrônico por ângulo de fase com comando remoto – o usuário possui um controle de potência próximo a altura das mãos, facilitando o ajuste desejado, que pode ser transmitido ao

aparelho por meio de cabos de aço com engrenagens e polias, as quais efetuam o giro de um potenciômetro. Pode também ser realizado com o circuito eletrônico separado do chuveiro e ligado por meio de condutores elétricos.

- Controle eletrônico por ângulo de fase com filtro – consiste de sistema de filtro na entrada do circuito eletrônico composto por indutor em série e capacitor em paralelo, para atenuação da amplitude dos componentes harmônicos. A prática em campo demonstra que esse tipo de filtro não apresenta os resultados esperados quanto a redução dos níveis harmônicos, além de gerar um ruído audível no chuveiro, característicos de um transformador.

Já o gradador com controle por ciclos inteiros controla a potência na carga variando o número de ciclos de tensão aplicados durante um período, o disparo do semicondutor é feito quando o valor da tensão é nulo, assim não polui a rede injetando harmônicas de alta frequência.

O chaveamento síncrono é um tipo de controle *on-off* utilizado para minimizar o problema de interferência eletromagnética, uma vez que tanto a entrada quanto a saída em condução das chaves se dá quando tensão e corrente são nulas. A Figura 6 demonstra o controle por ciclos inteiros.

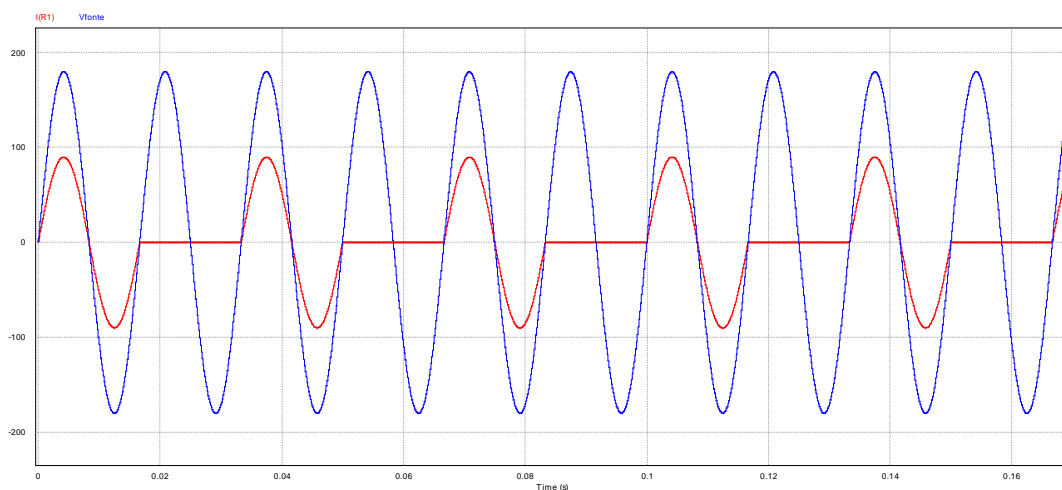


Figura 6- Controle por ciclos inteiros com 50% da potência aplicada

Fonte: O autor

Neste sistema em malha fechada, escolhe-se uma base de tempo contendo muitos ciclos da tensão de alimentação. À medida que a temperatura se aproxima daquela desejada, o número de ciclos *on* diminui e à medida que se afasta, o número de ciclos *on* aumenta. Logo, dentro do período escolhido, a duração do fornecimento de potência ao aquecedor varia, desde um número máximo inteiro de ciclos até nenhum ciclo. A precisão do ajuste depende da base de tempo utilizada. Por exemplo, numa base de 1 segundo existem 120 semiciclos. O ajuste da tensão aplicada à carga pode ter uma resolução mínima de 1/120 (UNICAMP, 2012).

Esse controle é aplicado particularmente para aquecimento resistivo, porém não é muito usual em chuveiros elétricos seu inconveniente é a chamada cintilação luminosa ou efeito *flicker*, ou seja, conforme o período de controle, a frequência baixa de chaveamento produz uma flutuação de tensão ocasionando a cintilação luminosa na mesma frequência.

2.2 METODOLOGIA E RESULTADOS

O controle de potência por ciclos inteiros eliminará os componentes harmônicos injetados na rede. As correntes não senoidais simétricas produzem harmônicas que somadas à senóide original produzem distorções, neste projeto será utilizado senóides completas ao invés de semiciclos.

Na Tabela 4, tem-se a relação entre a base de tempo escolhida e sua frequência de trabalho, ou seja, quantos ciclos da rede formaram o período a ser trabalhado. Por exemplo, pode-se trabalhar com 5 ciclos da rede, logo o período será 0,0833s e a frequência será 12Hz.

Tabela 3 - Relação entre frequência de trabalho e ciclos que formam o período

CICLOS	PERÍODO(s)	FREQUÊNCIA(Hz)
1	0,0167	60
2	0,0333	30
3	0,0500	20
4	0,0667	15
5	0,0833	12
6	0,1000	10
7	0,1167	8,6
8	0,1333	7,5
9	0,1500	6,7
10	0,1667	6

Fonte: O autor

Pretende-se verificar a incidência da cintilação luminosa com chaveamento a 30Hz e a 12Hz com lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Em paralelo a tensão da rede, que será a alimentação da carga, será posta uma lâmpada para examinar a cintilação luminosa provocada, conforme a Figura 4.

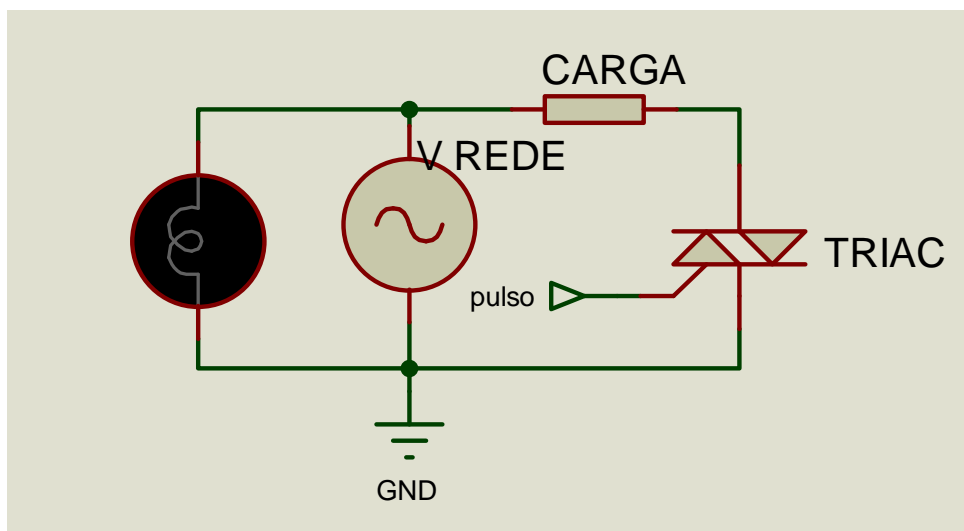


Figura 7- Circuito de potência para análise da cintilação luminosa

Fonte: O autor

O chaveamento a 30Hz é composto de dois ciclos da rede, pode-se então aplicar nenhum ciclo, correspondendo a 0% de potência e demonstrado na Figura 8, um ciclo, correspondendo a 50% de potência e demonstrado na Figura 9 ou dois ciclos, correspondendo a 100% de potência e demonstrado na Figura 10, logo temos três níveis de potência. Nesse chaveamento, o controle

trabalhará na faixa limiar da cintilação luminosa perceptível pelos seres humanos. Podendo trabalhar com uma queda de tensão da rede superior a 2% conforme IEC 61000-3-3.

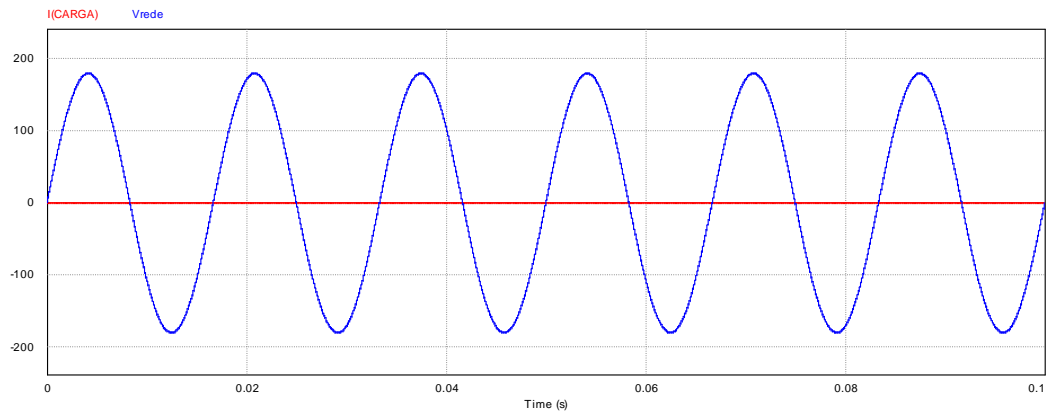


Figura 8- Nenhum ciclo, 0% de potência

Fonte: O autor

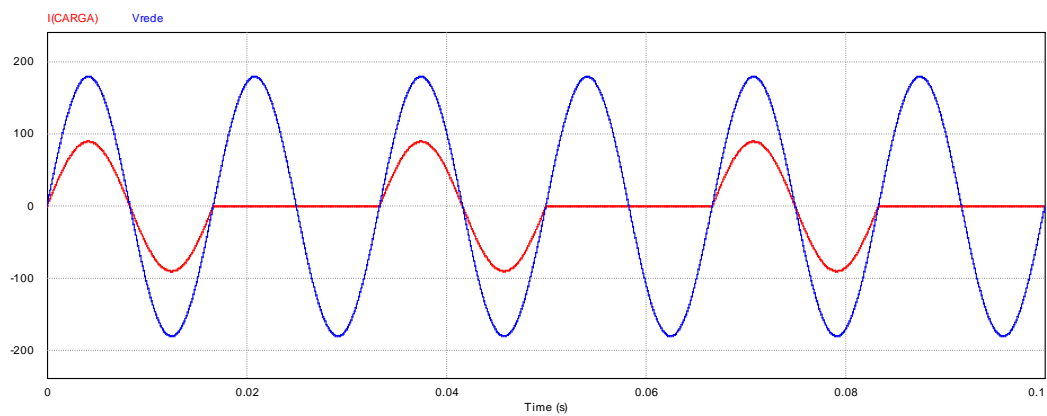


Figura 9- Aplicação de um ciclo de dois possíveis

Fonte: O autor

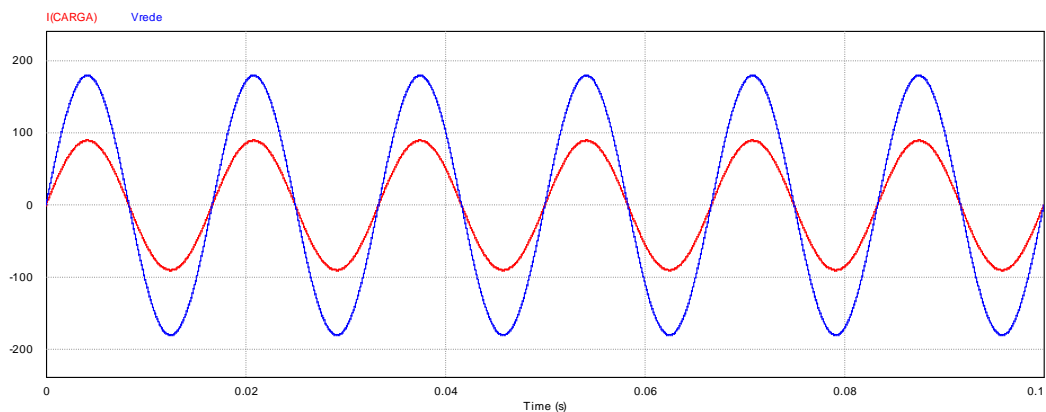


Figura 10–Todos os ciclos aplicados, 100% de potência
Fonte: O autor

O chaveamento a 12Hz é composto de cinco ciclos da rede, pode-se então aplicar nenhum ciclo, correspondendo a 0% de potência e demonstrado na Figura 8, um ciclo, correspondendo a 20% de potência e demonstrado na Figura 11, dois ciclos, correspondendo a 40% de potência e demonstrado na Figura 12, três ciclos, correspondendo a 60% de potência e demonstrado na Figura 13, quatro ciclos, correspondendo a 80% de potência e demonstrado na Figura 14 ou cinco ciclos, correspondendo a 100% de potência e demonstrado na Figura 10, logo temos seis níveis de potência.

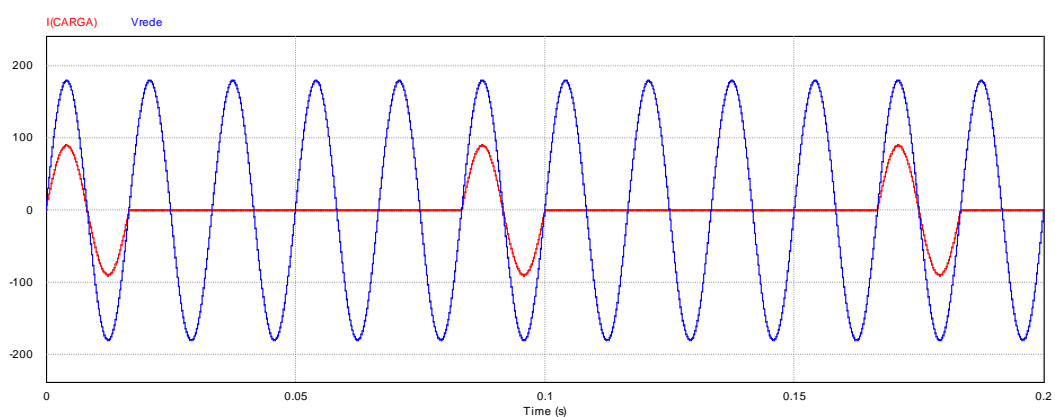


Figura 11 - Aplicação de um ciclo de cinco possíveis
Fonte: O autor

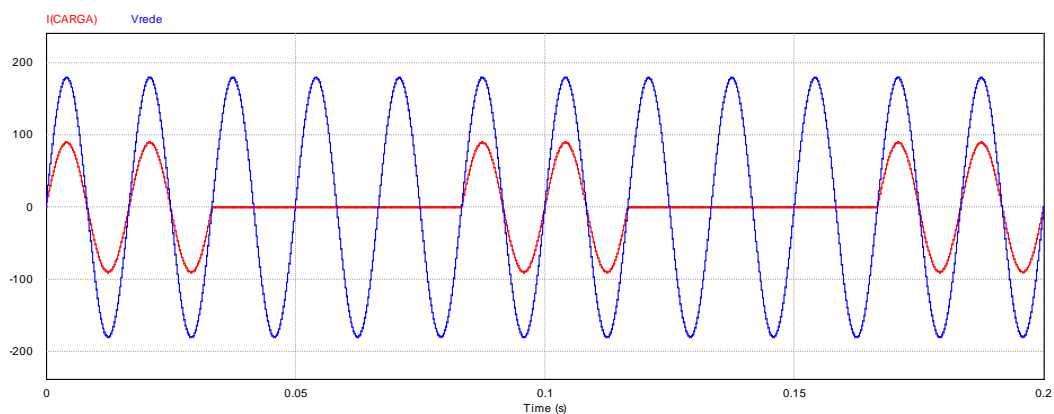


Figura 12 - Aplicação de dois ciclos de cinco possíveis
Fonte: O autor

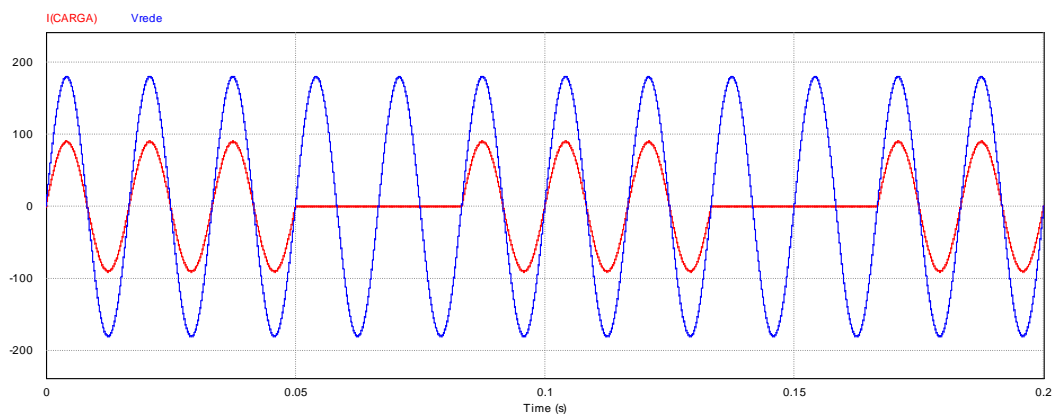


Figura 13 - Aplicação de três ciclos de cinco possíveis
Fonte: O autor

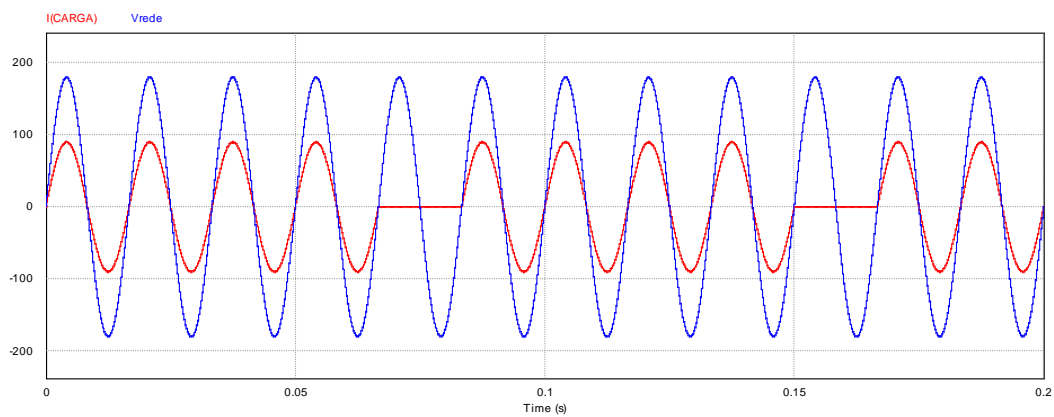


Figura 14 - Aplicação de quatro ciclos de cinco possíveis
Fonte: O autor

Pode-se utilizar mais de um elemento aquecedor (resistor) para aumentar o número de níveis de potência. Tomamos como exemplo dois elementos aquecedores, o primeiro com potência de 2W e segundo com potência de 4W, trabalhando na frequência limiar do *flicker*, ou seja 30Hz, vimos anteriormente que nessa frequência pode-se ter 3 níveis de potência para cada elemento (0%, 50% e 100%). Logo a combinação resultante entre eles será de 7 níveis de potência. As combinações vão ser as seguintes:

- Nível 1 – Os dois elementos com potência 0%;
- Nível 2 – Elemento 1 com potência 50% e elemento 2 com potência 0%;
- Nível 3 – Elemento 1 com potência 100% e elemento 2 com potência 0%;
- Nível 4 – Elemento 1 com potência 50% e elemento 2 com potência 50%;
- Nível 5 – Elemento 1 com potência 0% e elemento 2 com potência 100%;
- Nível 6 – Elemento 1 com potência 50% e elemento 2 com potência 100%;
- Nível 7 – Elemento 1 com potência 100% e elemento 2 com potência 100%;

A Figura 15 esboça as possíveis combinações.

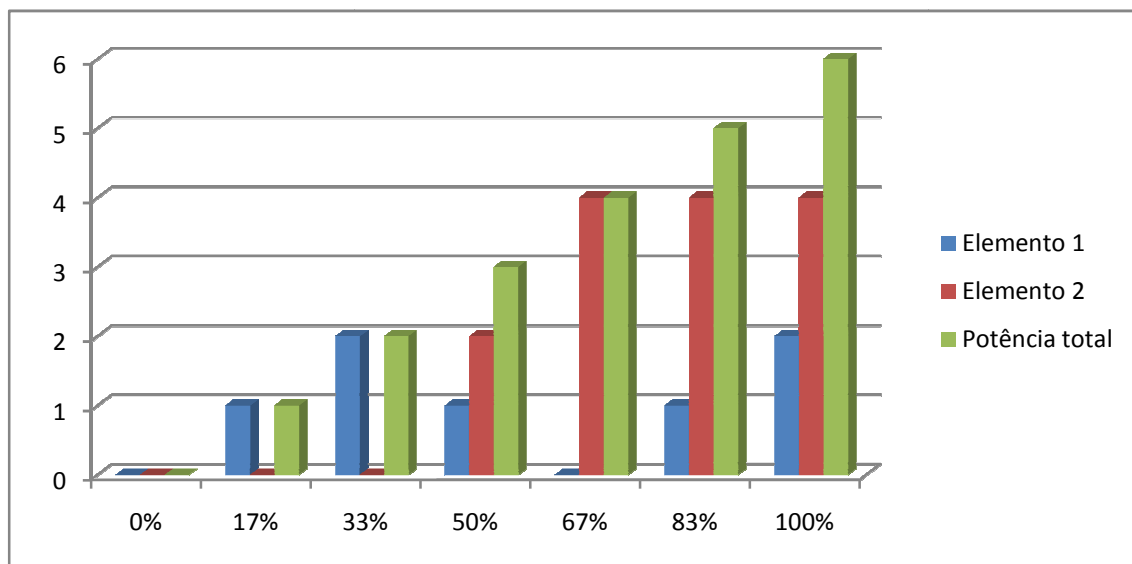


Figura 15 – Combinação resultante de dois elementos aquecedores
Fonte: O autor

2.2.1 Desenvolvimento e Construção do Circuito

Circuito de potência (Figura 16) é composto pela carga em série com o semicondutor de potência (TRIAC), estando ligados a tensão da rede. O TRIAC utilizado é o BTA40-600B, com especificações de corrente de 40A, 600V e corrente de *gate* de 50mA.

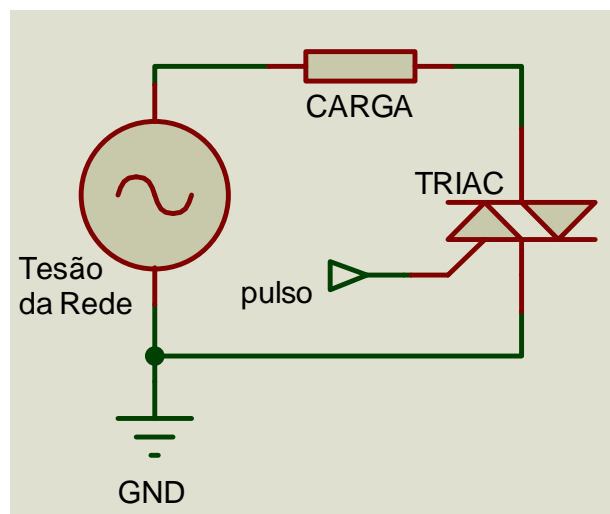


Figura 16- Circuito de potência
Fonte: O autor

O circuito de controle foi composto por um seletor com 6 posições de potência, circuito de sincronismo, amplificador de saída dos pulsos de controle e o microcontrolador (PIC 16F628A).

- Seletor de potência com 6 posições, desde 0% (potência nula) a 100% (potência total), empregado como entrada de dados no microcontrolador (Figura 17).

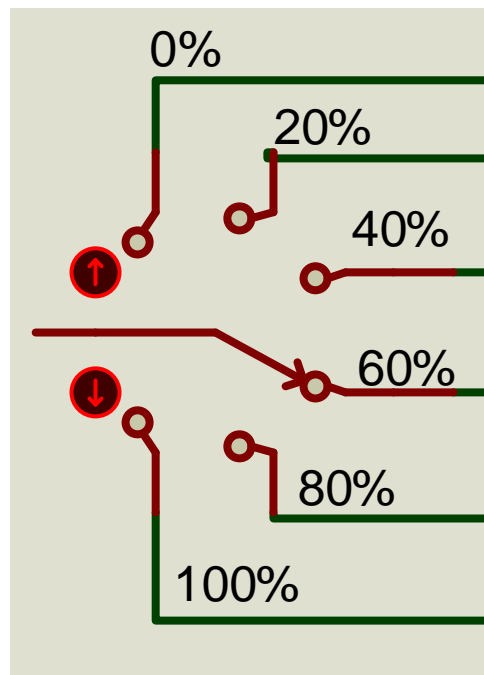


Figura 17 – Seletor de potência
Fonte: O autor

- Circuito de sincronismo, utilizado para detectar a passagem da tensão da rede por zero (Figura 18).

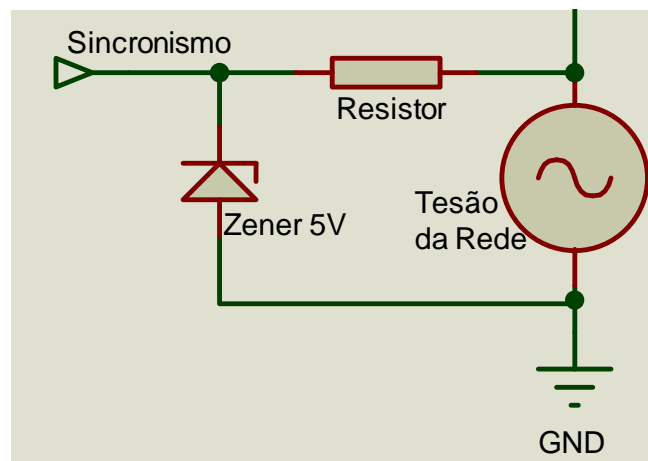


Figura 18 – Sincronismo
Fonte: O autor

- Amplificador de saída dos pulsos de controle, com a função de disparar o *gate* do semicondutor de potência. Este se faz necessário, pois a corrente máxima de saída do PIC 16F628A é 25mA, sendo insuficiente para disparar o TRIAC que necessita no mínimo 50mA.

Utilizando transistor 2N2222 para amplificar a corrente aplicada no *gate* do TRIAC (Figura 19).

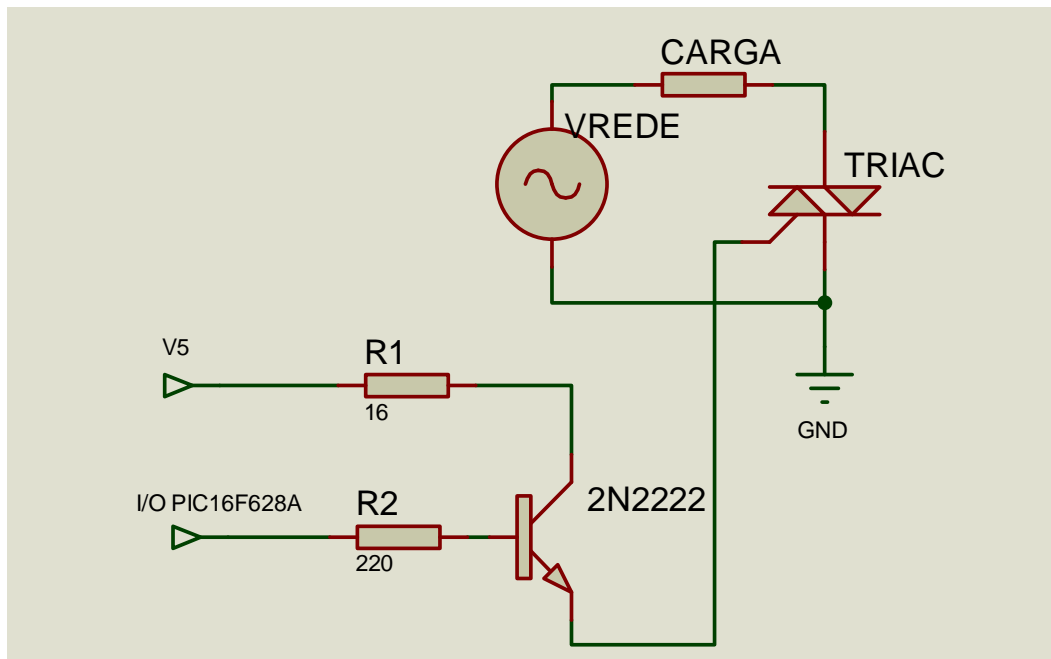


Figura 19– Amplificador para os pulsos
Fonte: O autor

- Microcontrolador PIC16F628A, escolhido por ser um microcontrolador simples, barato, com 16 pinos disponíveis para entradas ou saídas, e principalmente por possuir oscilador interno, dispensando uso de componentes como cristal e capacitores(Figura 20).

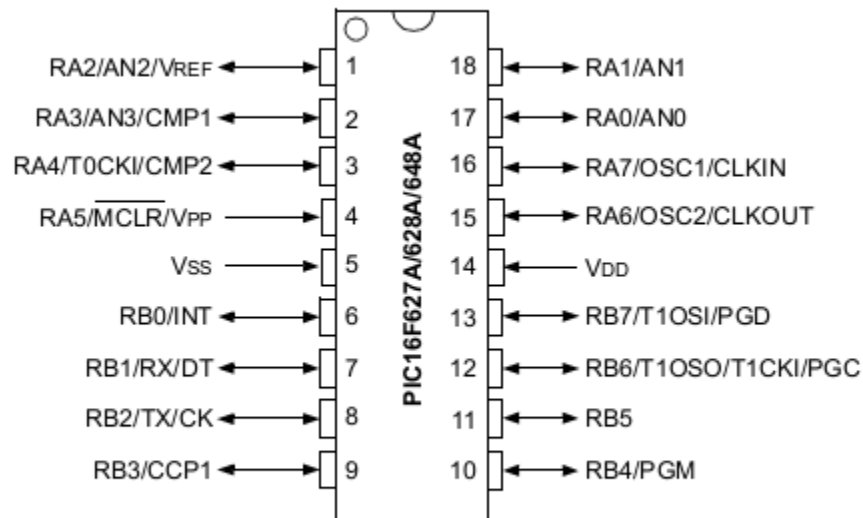


Figura 20– Microcontrolador PIC 16F628A

Fonte: *Datasheet* do Fabricante

O esquema do completo do circuito e suas ligações encontram-se no apêndice A. Os componentes utilizados estão no apêndice B com os seus custos e fornecedores.

2.2.2 Lógica de Programação

A lógica de programação do microcontrolador foi desenvolvida na linguagem C, com auxílio do *software* PIC-C Compiler da CCS. O qual gera os arquivos necessários que devem ser gravados no microcontrolador. A lógica da programação baseou-se no monitoramento da passagem da tensão da rede pelo valor zero, através do circuito de sincronismo.

A linguagem de programação está anexa no apêndice C e sua lógica segue conforme o fluxograma apresentado na Figura 21.

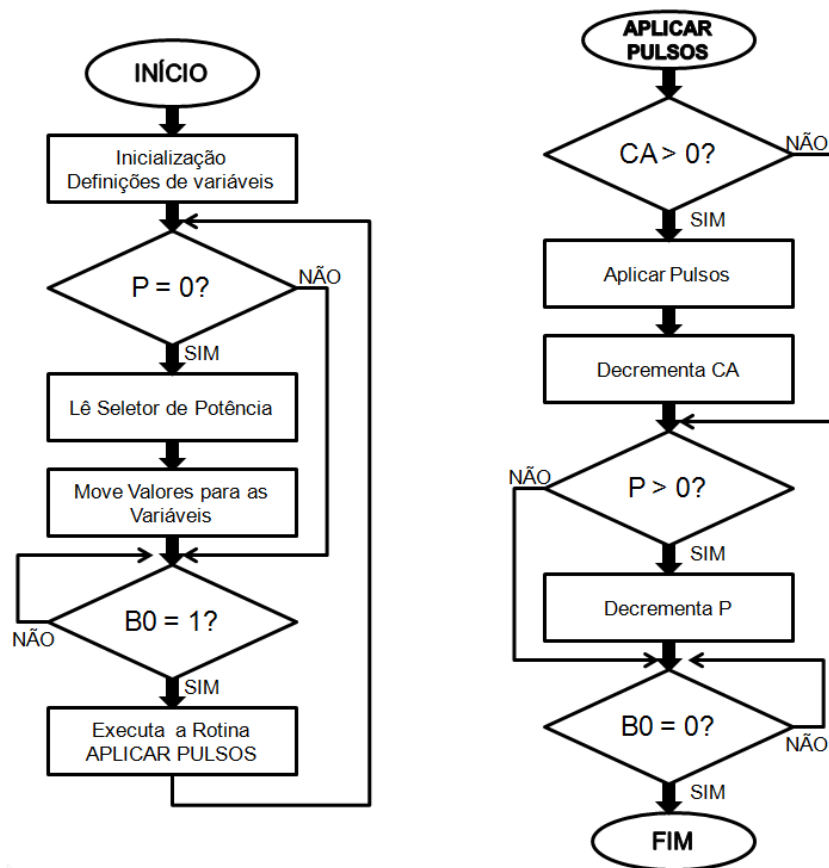


Figura 21– Fluxograma da programação

Fonte: O autor

Após o início são definidas as variáveis P (período de trabalho dado em número de ciclos) e CA (quantidade de ciclos que vão ser aplicados), atribuindo-se inicialmente valor zero para P e CA. O primeiro laço indaga se o período de trabalho está em seu início, se sim, faz-se as leituras do seletor de potência e move-se valores para as variáveis. Posteriormente aguarda-se a passagem da tensão da rede por zero, através do nível lógico alto no pino B0, para executar a rotina de aplicação dos pulsos no *gate* do TRIAC.

Para aplicar os pulsos, os laços averiguam os valores das variáveis, então move-se, por um espaço de tempo, nível lógico alto para um pino de saída do microcontrolador. Em seguida retorna-se para o início do programa.

2.2.3 Simulações e Comparações

As simulações (Figura 22) foram feitas no *software* Proteus versão 7, onde foi montado o circuito de controle e o de potência. O *software* permite que o código de programação gerado seja inserido no microcontrolador para a simulação do circuito.

Através das simulações foi possível encontrar falhas na programação e corrigi-las. Além de ser possível testar visualmente, com leds, o correto funcionamento.

O osciloscópio presente no simulador possui vários canais, o que foi muito útil para verificar o sincronismo no microcontrolador com a tensão da rede.

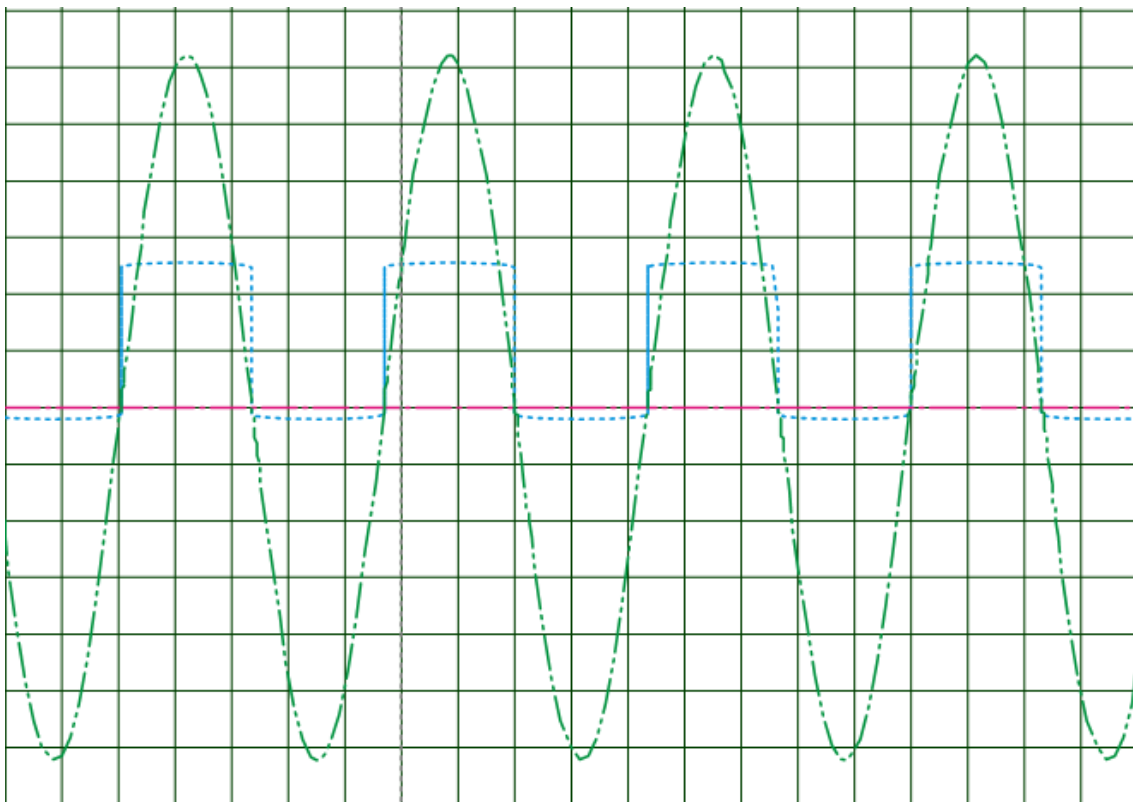


Figura 22– Simulação do sincronismo com a tensão da rede

Fonte: O autor

A saída do circuito de controle são os pulsos a ser aplicados no *gate* do semicondutor de potência, que pode ser comparado com o sincronismo, possibilitando melhor visualização de quantos ciclos estão sendo aplicados e

se está de acordo com o a relação de potência escolhida no seletor. A Figura 23 e a Figura 24 demonstram isso.

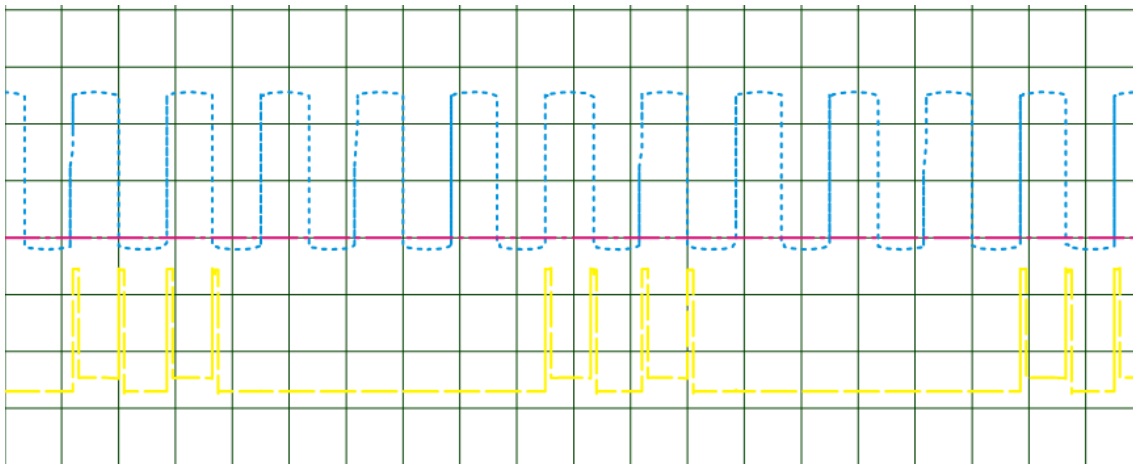


Figura 23– Simulação dos pulsos com o sincronismo para aplicar dois de cinco ciclos
Fonte: O autor

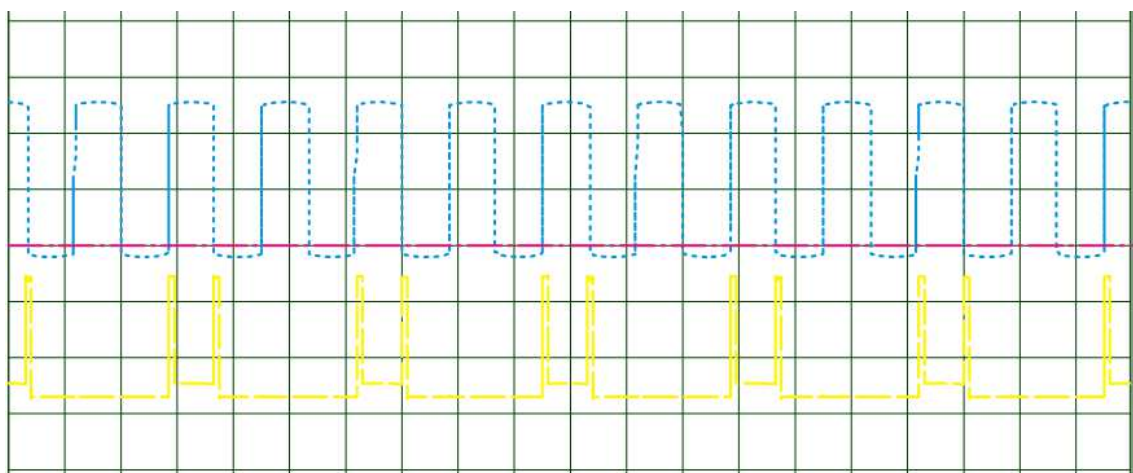


Figura 24- Simulação dos pulsos com o sincronismo para aplicar um de dois ciclos
Fonte: O autor

O resultado final das simulações é a forma de onda da carga, verificando se o controle de potência está adequando. A Figura 25 mostra a forma de onda da tensão na carga, onde são aplicados dois dos cinco ciclos do período de trabalho. Enquanto a Figura 26 mostra a forma de onda da tensão na carga, onde é aplicado apenas um dos cinco ciclos do período de trabalho.

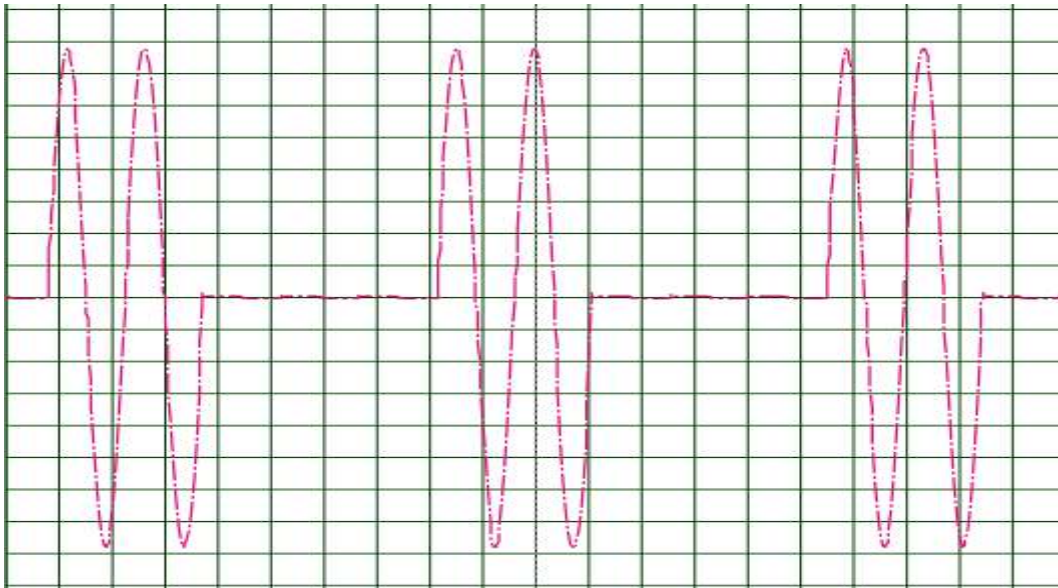


Figura 25- Simulação da tensão na carga aplicando dois de cinco ciclos

Fonte: O autor

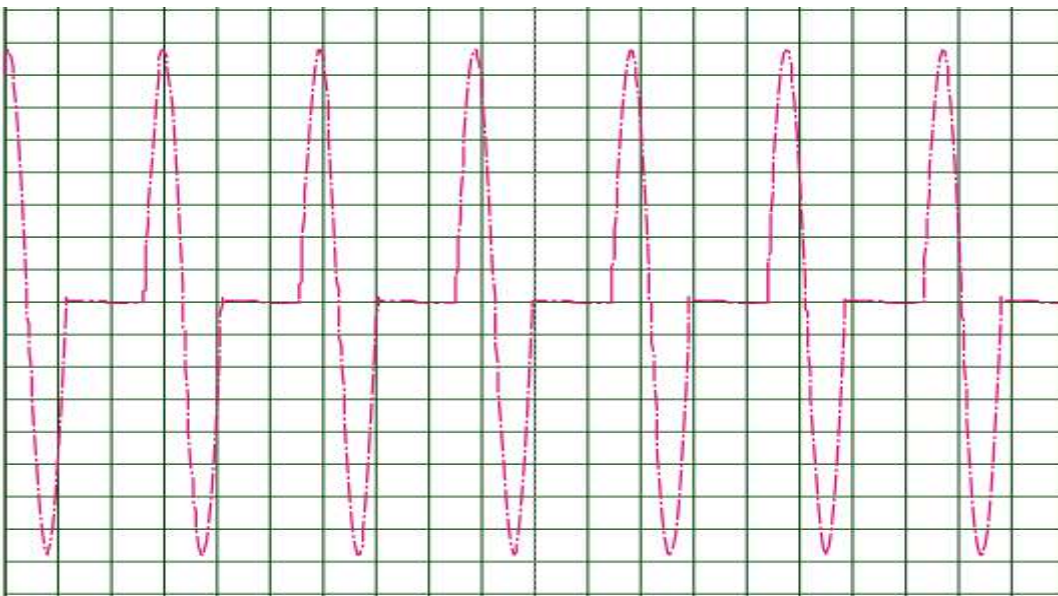


Figura 26- Simulação da tensão na carga aplicando um de dois ciclos

Fonte: O autor

2.2.4 Montagem e Testes

Foi usado o laboratório de Eletrônica de Potência da Universidade Tecnológica Federal do Paraná para a confecção da parte eletroeletrônica do circuito experimental. Dele foram utilizados uma fonte de alimentação ajustável

CC e CA, fios, ferramentas, lâmpadas, cargas teste, multímetro e osciloscópio (Figura 27).

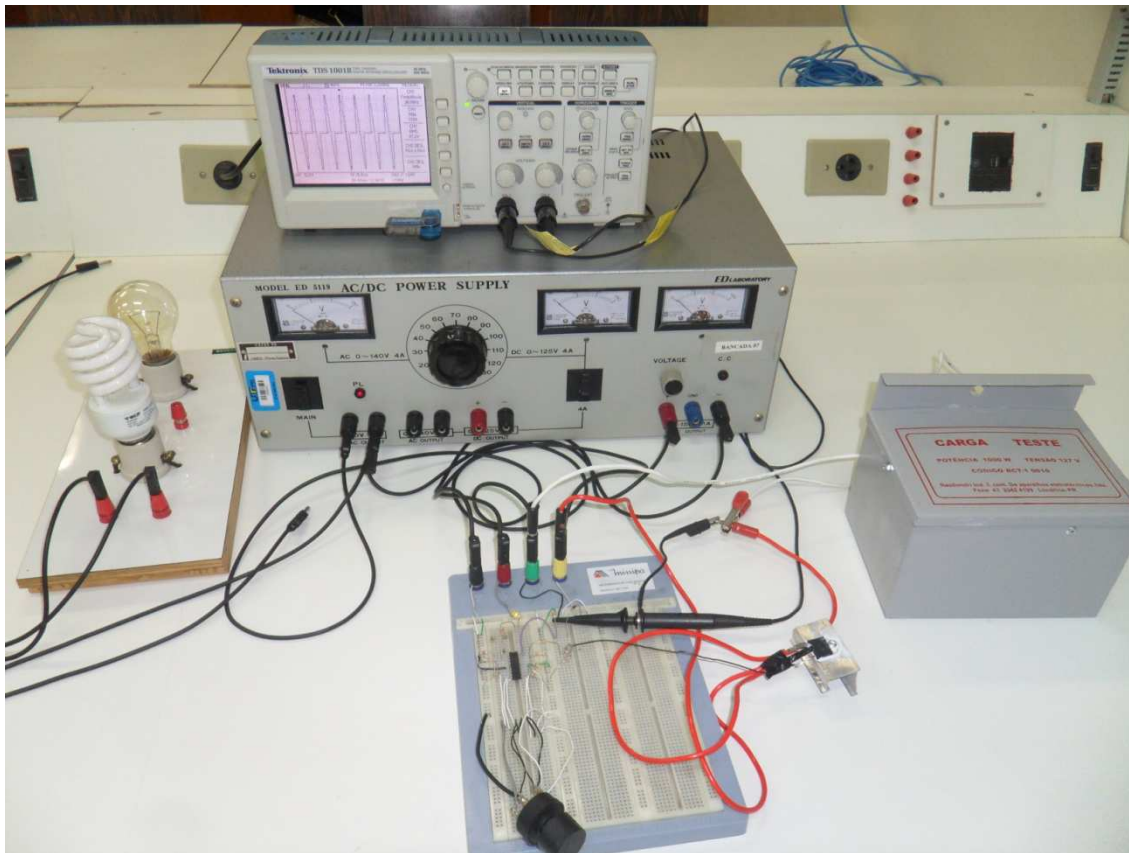


Figura 27- Bancada do Laboratório de Eletrônica de Potência
Fonte: O autor

A montagem do circuito começou pela parte do sincronismo do microcontrolador com a rede de energia. A Figura 28 ilustra o resultado obtido.

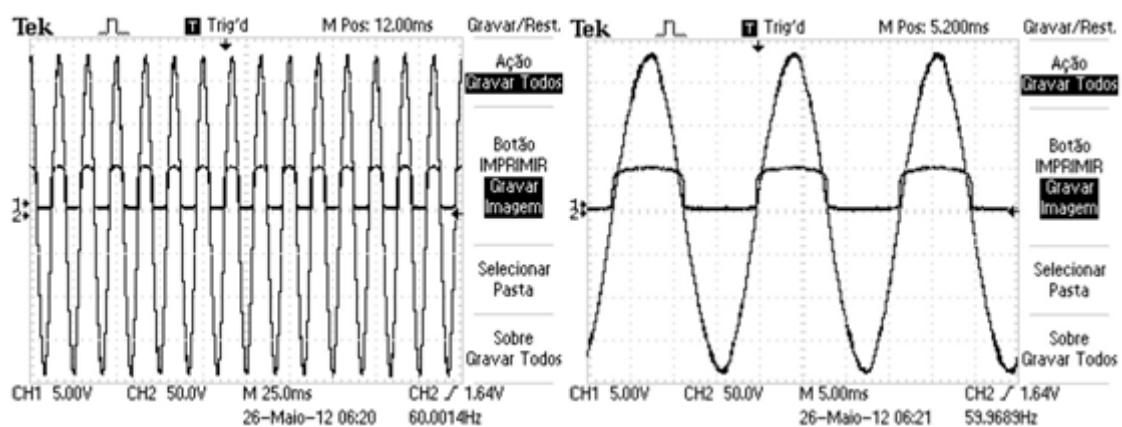


Figura 28– Sincronismo do circuito no osciloscópio
Fonte: O autor

Posteriormente, iniciou-se a montagem do circuito de controle, postos os componentes no *protoboard*, alimentou-se a parte de controle com uma tensão de 5V, vindos da fonte de alimentação ajustável. O resultado alcançado foi o mesmo do circuito simulado no *software* Proteus, como mostra a Figura 29 e a Figura 30, onde os pulsos a serem aplicados são comparados com o sincronismo, verificando a conformidade com o seletor de potência.

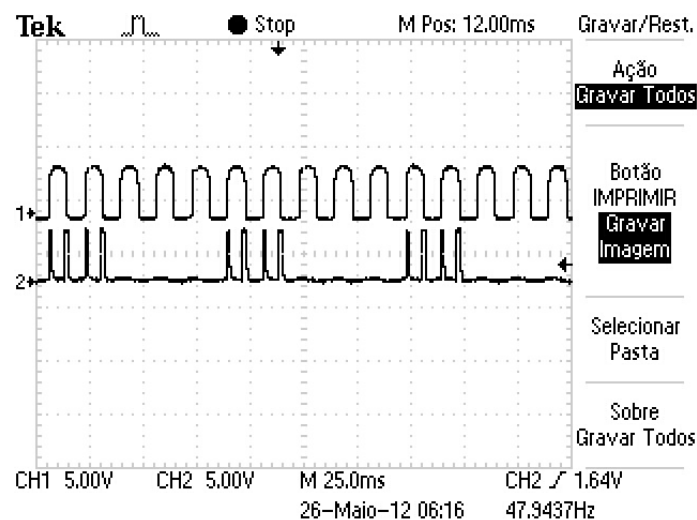


Figura 29- Pulsos com o sincronismo para aplicar dois de cinco ciclos
Fonte: O autor

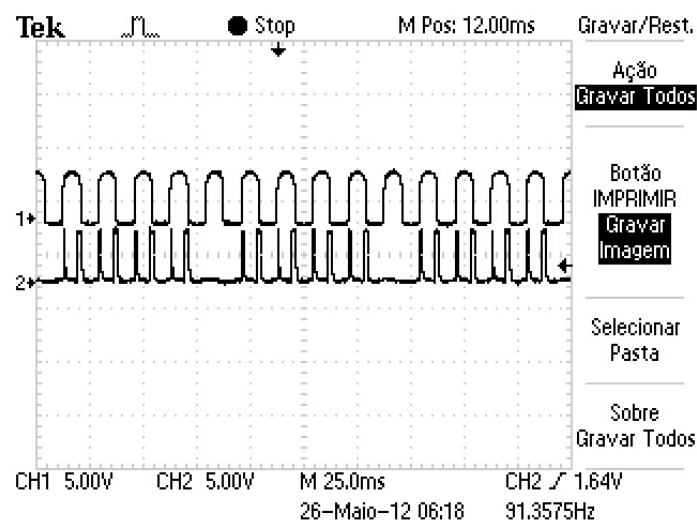


Figura 30- Pulsos com o sincronismo para aplicar quatro de cinco ciclos
Fonte: O autor

O circuito de potência foi montado somente quando o circuito de controle funcionou perfeitamente. Inicialmente foram feitos testes com uma carga resistiva de 1000W. Houve a necessidade de acoplar um dissipador de calor no TRIAC, devido ao seu aquecimento pela passagem da corrente elétrica. Contudo em se tratando de aquecedores de passagem, a própria água faz o resfriamento.

As formas de onda obtidas no osciloscópio são semelhantes ao simulado no *software* como mostram as Figuras 31, 32 e 33.

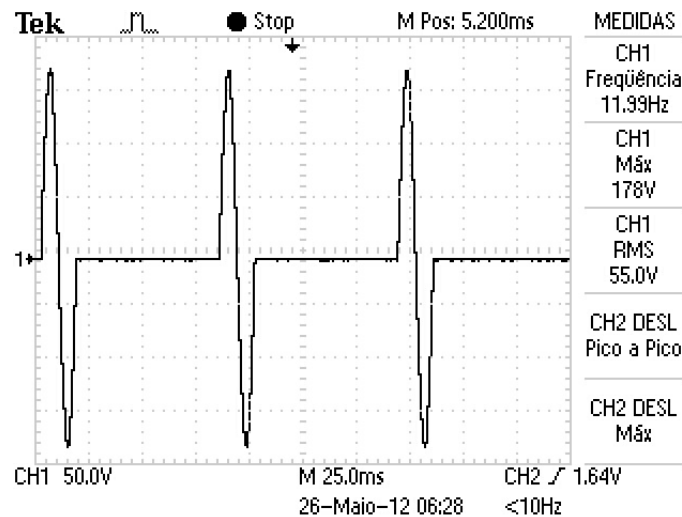


Figura 31- Tensão na carga aplicando um de cinco ciclos

Fonte: O autor

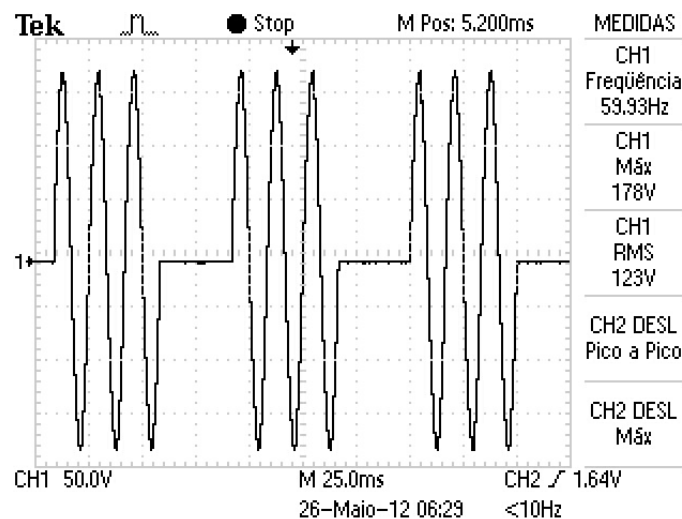


Figura 32 - Tensão na carga aplicando três de cinco ciclos

Fonte: O autor

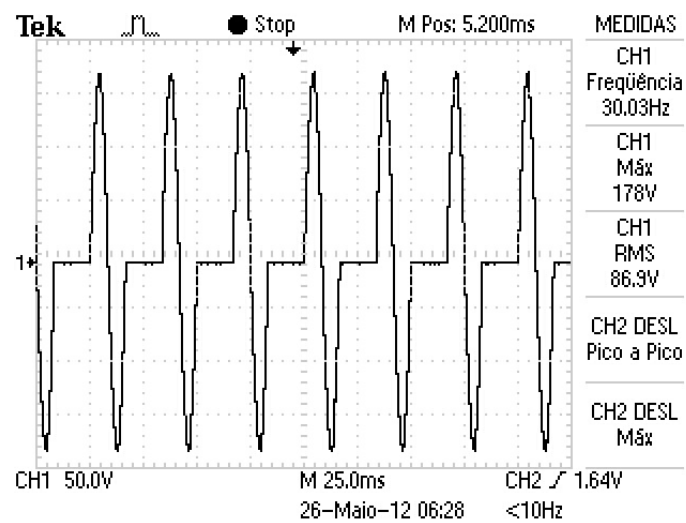


Figura 33 - Tensão na carga aplicando um de dois ciclos
Fonte: O autor

A análise do *flicker* realizou-se colocando em paralelo com a tensão da rede uma lâmpada incandescente e em seguida uma lâmpada fluorescente. O estudo do *flicker* foi feito com uma carga de 5000W e tensão direto da rede semelhante a potência de um aquecedor elétrico de passagem(Figura 34).



Figura 34– Bancada de teste para análise do *flicker*

Fonte: O autor

Trabalhando com uma frequência de 30Hz, a cintilação luminosa foi imperceptível tanto na lâmpada incandescente quanto na fluorescente.

Na frequência de 12Hz, é perceptível a cintilação luminosa na lâmpada incandescente. Conforme a potência selecionada, é quase imperceptível a cintilação luminosa na lâmpada fluorescente, porém causa incômodo com pequeno desconforto visual.

Foi feito também o estudo da queda de tensão da rede para análise do *flicker*. No osciloscópio considerou-se o ciclo em que a carga está ligada e o posterior em que ela foi desligada. Observou-se uma queda de tensão de aproximadamente 7V de pico, ou seja, 5V eficaz. O que resulta em 3,9% de queda de tensão da rede. Na Figura 35, nota-se a diferença de pico entre os ciclos *on* e *off* da carga.

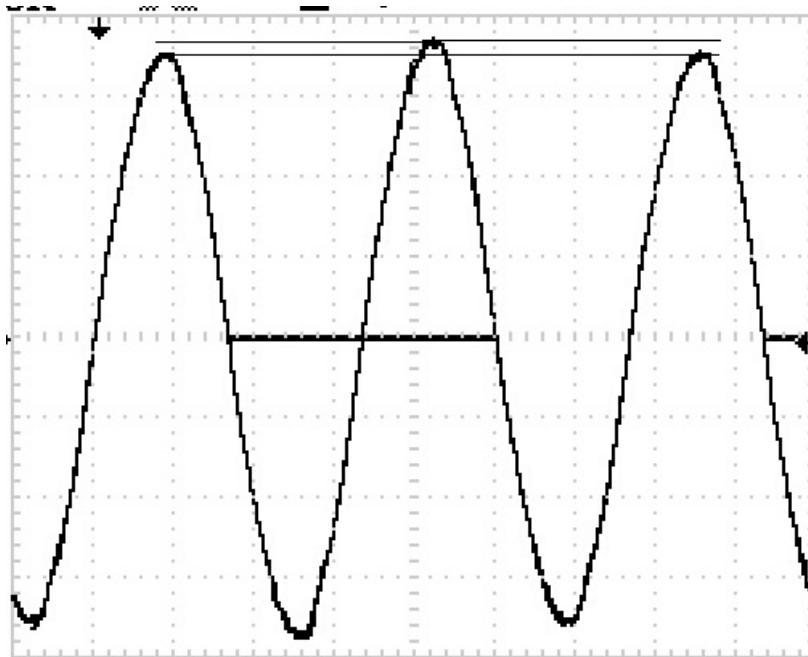


Figura 35– Diferença entre a tensão de pico com a carga ligada e desligada

Fonte: O autor

3 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da pesquisa, o aprofundamento teórico foi de suma importância para o desenvolvimento do circuito e a lógica de programação. Os resultados obtidos nos testes práticos comprovaram que para uma frequência inferior a 30Hz, a cintilação luminosa é perceptível aos seres humanos. Contudo, confirmou-se que trabalhando na frequência de 30Hz, com dois ciclos da rede, é possível a utilização da técnica de controle por ciclos inteiros, com três níveis de potência. A combinação feita através de dois elementos aquecedores aumenta os níveis de potência de três para sete.

As vantagens do controle por ciclos inteiros vão desde o aumento da eficiência energética do equipamento, através do desaparecimento das harmônicas e fator de potência unitário, até o melhor controle efetuado, feito de forma digital com um microcontrolador. Sua desvantagem é que o aumento dos níveis de potência está atrelado ao aumento do número de elementos aquecedores, o que implica no encarecimento do equipamento.

Acredita-se que sua aplicação comercial, utilizando dois elementos aquecedores, é viável considerando que o equipamento é eficiente energeticamente.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional**, 2005. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PremissasdoMdulo3-AcessoaosSistemasdeDistribuio_02_08_05.pdf>. Acesso em: 10 out. 2011.
- BARBI, I. **Eletrônica de potência**. 3. Ed. Florianópolis Ed. do Autor, 2000.
- BRAGA, L.C. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial**. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8D2JQU>>. Acesso em: 22 ago. 2011.
- CANESIN, C. A. **Qualidade da energia nos sistemas elétricos**. Disponível em: <www.dee.feis.unesp.br/qualienergi/dados/bican.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2012.
- DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da qualidade da energia elétrica**. Disponível em: <www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/it012.html>. Acesso em: 14 fev. 2012.
- DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **O efeito da cintilação luminosa: causas, efeitos e soluções**. Disponível em: <www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/files/qualidade/a3.pdf>. Acesso em: 15 out. 2011.
- DUTRA, J. B. A. **Controle de potência com dispositivos eletrônicos**. Disponível em: <www.webeficienciaenergetica.kit.net/controldepotencia.pdf>. Acesso em: 15 out. 2011.
- JÚNIOR, C. J. O. **Controle eletrônico de potência em aquecedores elétricos de passagem por semiciclos otimizados**. Dissertação na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-08122006-150201/pt-br.php>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

LUQUETA, G. R. **Curso básico de eletrônica analógica**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/50887715/22/TIRISTORES-SCRs-E-TRIACs>> Acesso em: 10 abr. 2012.

MEHL, E. L. M. **Qualidade da energia elétrica**. Disponível em: <www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf> Acesso em: 14 fev. 2012.

PIRES, I. A. **Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica**. Dissertação na Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/documentos/Defesas/606/versaoFinalIgor.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

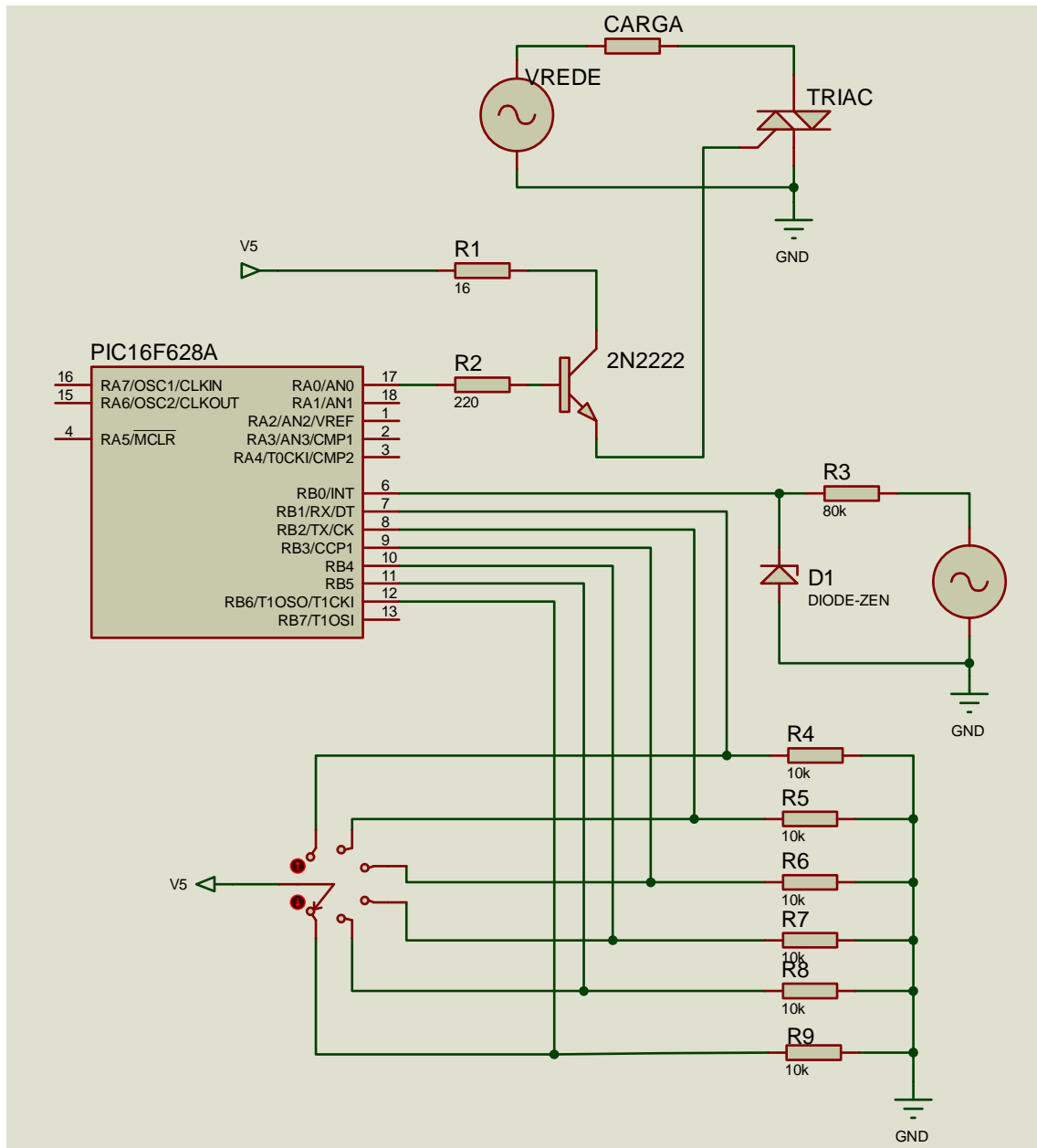
POMILIO, J. A. **Normas relativas a fator de potência e distorção harmônica**. Disponível em: <www.rta.com.br/arquivos/normas-comentadas-harmonicos.pdf>. Acesso em: 15 out. 2011.

SILVA, S. R. **Certificados de estudos: sistemas de energia elétrica e eletrônica de potência**. Disponível em: <www.cpdee.ufmg.br/~selenios/Qualidade/ELE046_1_1.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2012.

SOUZA, F. P. **Correção do fator de potência para instalações de baixa potência empregando filtros ativos**. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis, 2000. Disponível em: <www.ivobarbi.com/PDF/Teses/Tese_Fabiana%20Pottker.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.

UNICAMP. **Aplicação de TRIAC no controle de temperatura: controle por ciclos inteiros**. Faculdade de Engenharia elétrica e de computação, 2012. Disponível em: <www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/files/ee833/Modulo3.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.

APÊNDICE A - Esquema do circuito



APÊNDICE B - Lista de componentes

ITEM	FORNECEDOR	CUSTO UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL
TRIAC BTA40 600B	Top Eletrônica	R\$ 13,00	1	R\$ 13,00
PIC16F628A		R\$ 8,50	1	R\$ 8,50
TRANSISTOR 2N2222		R\$ 2,00	1	R\$ 2,00
DIODO ZENER 5V		R\$ 0,50	1	R\$ 0,50
CHAVE ROTATIVA 7P		R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Resistor 16 ohm		R\$ 0,30	1	R\$ 0,30
Resistor 220 ohm		R\$ 0,30	1	R\$ 0,30
Resistor 10K ohm		R\$0,30	1	R\$ 0,30
Resistor 80K ohm		R\$0,30	7	R\$ 2,10

APÊNDICE C - Algoritmo de programação

```

#include <16F628A.h>

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES PUT             //Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES NOMCLR         //Master Clear pin used for I/O
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#fuses INTRC_IO

#use delay(clock=4000000)

intca=0, p=0;         //ca=ciclos aplicados; p=periodo
void rotina()        //Rotina para aplicar pulsos
{
  if(p>0) {
    p--;
  }
  if(ca>0) {
    output_high (PIN_A0);
    delay_ms (1);
    output_low (PIN_A0);
    delay_ms (6);
    output_high (PIN_A0);
    delay_ms (2);
    output_low (PIN_A0);
    ca--;
  }
  while(input(PIN_B1)==1);
}

voidmain(){
  while(1){
    While(p==0)      //SE PERIODO IGUAL A ZERO, LER NOVAMENTE BOTOES

```

```
{
if(input(PIN_B1) == 1) {
delay_us (2);
if(input(PIN_B1) == 1) {
ca=1;
p=2;
}}
if(input(PIN_B2) == 1) {
delay_us (2);
if(input(PIN_B2) == 1) {
ca=1;
p=5;
}}
if(input(PIN_B3) == 1) {
delay_us (2);
if(input(PIN_B3) == 1) {
ca=2;
p=5;
}}
if(input(PIN_B4) == 1) {
delay_us (2);
if(input(PIN_B4) == 1) {
ca=3;
p=5;
}}
if(input(PIN_B5) == 1) {
delay_us (2);
if(input(PIN_B5) == 1) {
ca=4;
p=5;
}}

if(input(PIN_B6) == 1) {
delay_us (2);
```



```
if(input(PIN_B6) == 1) {  
  ca=5;  
  p=5;  
}  
}  
  
//ENQUANTO CICLOS MAIOR QUE ZERO, APLICAR PULSOS  
while(input(PIN_B1)==0); //Aguarda sinal de sincronismo  
if(input(PIN_B1)==1) {  
  rotina();  
}  
}
```